

Aus dem III. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med. Hans Joachim Clemens

ÜBER DIE ART UND LOKALISATION VON
HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Michael Wirsching

aus Berlin

1972

Aus dem III. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr.med. Hans Joachim Clemens

ÜBER DIE ART UND LOKALISATION
VON HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN.



Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Michael Wirsching
aus
Berlin

Referent: Professor Dr.med. Hans Joachim Clemens

Korreferent: Professor Dr.med. Günter Friedebold



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche der
Freien Universität Berlin

Promoviert am: 28.8.1972

Inhaltsübersicht

1. Einleitung

2. Anatomische Grundlagen der Verletzungsmechanismen und Verletzungsarten

2.1 Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule

2.2 Einteilung der HWS in drei Abschnitte

2.2.1 Die obere HWS

2.2.2 Die mittlere HWS

2.2.3 Die untere HWS

2.3 Allgemeine Prinzipien im Bau der HWS

2.3.1 Modellvorstellungen

2.3.2 Die Zwischenwirbelscheiben

2.3.3 Bewegungshemmung und Belastbarkeit

2.3.4 Der Bandapparat

2.3.5 Das muskuläre Gleichgewicht

3. Verletzungsmechanik

3.1 Das Schleudertrauma

3.2 Das Retroflexionstrauma (Hyperextensionstrauma)

3.3 Das Anteflexionstrauma (Hyperflexionstrauma)

3.4 Rotation und Stauchung

4. Material und Methodik

4.1 Das statistische Untersuchungsmaterial

4.2 Klassifizierung der Ergebnisse

Digitized by the Internet Archive
in 2026

5. Eigene Untersuchungsergebnisse

5.1 Schleuderverletzungen

5.2 Retroflexionsverletzungen

5.3 Anteflexionsverletzungen

5.4 Kombinationsverletzungen und ungeklärte Verletzungsmechanismen

5.5 Zusammenfassender Vergleich aller vier Verletzungsgruppen

5.6 Vergleich zwischen tödlichen und überlebten Verletzungen

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1 Lokalisation der Verletzungen

6.2 Art der Verletzungen

6.3 Fragebogen, Sektionen und Experimente

7. Verletzungsstufen bei Schleudertraumen

7.1 Allgemeines

7.2 Verletzungsstufe Anteflexion_I (AF_I) und Retroflexion_I (RF_I)

7.3 Verletzungsstufe Anteflexion_{II} (AF_{II}) und Retroflexion_{II} (RF_{II})

7.4 Verletzungsstufe Anteflexion_{III} (AF_{III}) und Retroflexion_{III} (RF_{III})

7.5 Verletzungsstufe Anteflexion_{IV} (AF_{IV}) und Retroflexion_{IV} (RF_{IV})

8. Zusammenfassung

9. Anhang

9.1 Fünf Fälle von HWS-Verletzungen bei Unfalltoten

9.2 Vier Fälle von experimentell erzeugten HWS-Verletzungen

Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Im Jahre 1968 sind bei Verkehrsunfällen 17.000 Tote und nahezu eine halbe Million Verletzte zu verzeichnen gewesen. Es fällt auf, daß die Verletzungen der Halswirbelsäule dabei ständig zunehmen (vgl. GÖGLER 1968 und 1970).

Betrachtet man die vorhandene Literatur, so bleibt festzustellen, daß die vorhandenen Statistiken keine oder nur unzureichende Angaben über das biomechanische Geschehen beim Unfall berücksichtigen. So kommt es zum Beispiel, daß einzelne Autoren den Schwerpunkt der Verletzungen der Halswirbelsäule auf die oberen Anteile, andere auf die unteren Anteile der Halswirbelsäule lokalisieren. Die Lokalisation hat aber im Halsbereich einen direkten Einfluß auf die Prognose der Verletzung (siehe dazu Kap. 5.6 "Vergleich zwischen tödlichen und überlebten Verletzungen").

Die vorliegende Arbeit soll bezüglich der Lokalisation von Halswirbelsäulenverletzungen unter Berücksichtigung des Unfallablaufes eine Klärung bringen.

Die Möglichkeiten, das Unfallgeschehen zu rekonstruieren, sind vielfältig, wenn auch nicht immer zufriedenstellend.

Erstens besteht für den Arzt die Möglichkeit, die Unfallfolgen am lebenden oder toten Patienten selbst festzustellen.

Zweitens ist es möglich, daß von technischer Seite das Fahrzeug und die Straße untersucht werden.

Schließlich sind experimentelle Untersuchungen er-

forderlich, um die Teilergebnisse aus dem technischen und medizinischen Bereich zu koordinieren und zu beweisen. Diese experimentellen Untersuchungen können mit Leichenmaterial oder mit anthropomorphischen und anthropometrischen Versuchspuppen (sogenannten "Dummies") vorgenommen werden.

In der vorliegenden Arbeit sollte das Unfallgeschehen an der Halswirbelsäule soweit wie möglich analysiert werden, um als Basismaterial für experimentelle Untersuchungen zu dienen.

Als Vorbild für die Koordinierung der Arbeit von Medizinern der verschiedensten Fachrichtungen und Ingenieuren mögen die seit etwa zehn Jahren regelmäßig in Amerika veranstalteten "Stapp-Konferenzen" gelten, auf denen die neuesten Ergebnisse insbesondere der interdisziplinären experimentellen Unfallforschung diskutiert werden.

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Professor Dr. H. J. CLEMENS für die Überlassung des Themas, die bei der Durchführung der Arbeit geleistete überaus wertvolle Hilfe und Unterstützung sowie für die Überlassung der Ergebnisse von zehn Schleuderexperimenten, welche im III. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin durchgeführt wurden.

Für die Unterstützung bei der Erarbeitung des klinischen Materials danke ich Herrn Professor Dr. G. FRIEDEBOLD, Chefarzt im Oskar-Helene-Heim Berlin, Herrn Professor Dr. W. HEIM, Chefarzt der chirurgischen Abteilung im Rudolf-Virchow-Krankenhaus Berlin und Herrn Priv.Do. Dr. F. HOF-

meister, Chefarzt der orthopädischen Abteilung im
Rudolf-Virchow-Krankenhaus Berlin.

Die Einsicht in die Sektionsprotokolle verdanke ich Herrn Professor Dr. Rommeney, Direktor des Landesinstituts für Gerichtliche und Soziale Medizin in Berlin.

Sämtliche Fotografien fertigte Frl. U. Sauerbier, Fotografin am III. Anatomischen Institut der FU-Berlin an, wofür ich ihr an dieser Stelle herzlich danke.

Die Zeichnungen der verschiedenen Verletzungsstufen fertigte dankenswerterweise Herr Martin Gern aus Kassel an.

2. Anatomische Grundlagen der Verletzungsmechanismen und Verletzungsarten

2.1 Die Beweglichkeit der HWS

Die HWS wird gegenüber anderen Wirbelsäulenabschnitten ausgezeichnet durch ein hohes Maß an Beweglichkeit in alle Richtungen des Raumes. Diese beruht neben der besonderen Konstruktion der Kopfgelenke auf der Flachstellung der Gelenkfortsätze, die bei Bewegungen aufeinander verschoben werden. Diese Verschieblichkeit beträgt, gemessen an der Verschiebung der Wirbelkörper, bei der Flexion 2 - 3 mm. Um diesen Betrag schiebt sich der obere Wirbel über dem unteren nach vorne. Bei der Extension ist die Verschiebung geringer und beträgt 1 - 2 mm (AUFDERMAUR 1960). Dieses "physiologische Wirbelgleiten" ist bei jungen Menschen ausgeprägter als bei älteren und führt zu einer Verengung des Spinalkanales, welche von einigen Autoren ¹⁾ als mögliche Quelle für Verletzungen angesehen wird.

Ein weiterer Grund für die gute Beweglichkeit der HWS liegt in der relativen Höhe der Bandscheiben bei kleiner, viereckiger Fläche der Wirbelkörper. Das Verhältnis von Bandscheibenhöhe zu Wirbelkörperhöhe beträgt hier 1 : 3 ²⁾.

1) BÜRKLE DE LA CAMP 1961; HADLEY 1964; TARRIERE und SAPIN 1969.

2) FICK 1904; STRASSER 1908; DREXLER 1962.

Extension und Flexion, Rotation und Seitbeugung sind in hohem Maße möglich, wobei auch Kombinationen aller dieser Bewegungen vorkommen. Insbesondere die Lateralflexion scheint immer mit einer Rotation verbunden zu sein (AUFDERMAUR 1960).

Die Bewegungsmaße (Tab. 1) betragen für die sagittale Richtung insgesamt $130 - 150^{\circ}$ und für die Rotation 180° . Dabei ist zu beachten, daß die einzelnen Glieder in höchst unterschiedlichem Maße an den Bewegungen beteiligt sind. Bei der Flexion-Extension sind es neben den Kopfgeelenken vor allem die Bewegungssegmente der unteren HWS, die größere Exkursionen zulassen. Die Rotation wird fast ausschließlich im Atlanto-Axial-Gelenk bewerkstelligt. Dagegen sind die mittleren Anteile der HWS gut für eine Lateralflexion geeignet.

2.2 Einteilung der HWS in drei Abschnitte

Angesichts dieser funktionellen Unterschiede, die ihre Ursachen in anatomischen Besonderheiten haben, erscheint eine Dreiteilung der HWS in eine obere, mittlere und untere HWS gerechtfertigt, wie sie auch schon von anderen Autoren vorgenommen wurde ³⁾. Im Folgenden sollen die einzelnen Abschnitte in ihren Besonderheiten besprochen werden.

3) AMYES und ANDERSON 1956; WOLFF 1962; v. TORKLUS und GEHLE 1970.

Tabelle 1a: Bewegungsmaße der HWS

		Extension	Flexion	Gesambeweglichkeit
zit.n.	BAKKE	70,4°	32°	102,4°
GÜNTZ				
(1957)	WEBER	76,2°	76,5°	152,75°
	FICK (1911)	90,0°	90,0°	180,0°
	GLENVILLE			
	u. KREEZER	61,0°	60,0°	121,0°
	(1937)			
zit.n.				
TARRIERE	BUCK et al.	77,0°	67,0°	144,0°
u. SAPIN	(1959)			
(1969)	VIRCHOW	63,0°	70,0°	133,0°
	VANDERVAAL			
	(1956)	-	-	130,0-150,0°
	ROCHER u.			
	RIGAUD	-	-	130,0-150,0°
	(1956)			
zit.n.				
JUNGHANNS	BALL u.	-	-	110,0°
(1968)	MEIJERS			

Tabelle 1b: Bewegungsmaße in den einzelnen Bewegungs-
segmenten

1. Kopfgelenke:

	Sagittal	Rotation	Lateralflexion
v. TORKIUS u. GEHLE (1970)	je 30°	90°	5,5°
HADLEY (1964)	je 25°	80°	-
OLIVIER (1963)	Flex. 20°		
zit.n. TARRIERE	Ext. 30°	-	-
u. SAPIN (1969)			

2. Übrige Segmente:

	Sagittal	Rotation	Lateralflexion
BAKKE u. C ₃ /C ₄	15,4°	-	6°
WOLFF (1962) C ₄ /C ₅	15,4°	-	6°
zit.n. C ₅ /C ₆	20,4°	-	6°
GÜNTZ (1957) C ₆ /C ₇	17,0°	-	6°

2.2.1 Obere Halswirbelsäule

Der erste und zweite Halswirbel bilden zusammen mit den beiden Kondylen des Hinterhauptes die Kopfgelenke. Das obere (Articulatio atlanto occipitalis) ist ein Scharniergelenk (Ellipsoidgelenk). Das untere (Articulatio atlanto axialis) ist ein Zahngelenk. Wenn jeweils von einem Gelenk gesprochen wird, gilt das nur im funktionellen Sinn. Anatomisch besteht das obere Kopfgelenk aus zwei getrennten Gelenken, und das untere setzt sich sogar aus vier Gelenken zusammen (zwei seitliche Tragegelenke und je ein vorderes und hinteres Zahngelenk).

Größte Beweglichkeit gepaart mit großer Stabilität und Stärke zeichnen diese Gelenke aus ⁴⁾. Die Beweglichkeit wird durch die außergewöhnlich weiten Gelenkkapseln vermittelt, die Stabilität und die Stärke durch die kräftigen Haltebänder (Lig. cruciforme, Ligg. alaria und Lig. transversum atlantis). Das letztere soll das relativ am kräftigsten ausgebildete Band des Körpers überhaupt sein ⁵⁾. Die Zerreißkraft der Bänder des Axis wird mit 125 Pfund angegeben ⁶⁾. Bei Erhängten sollen deshalb eher die wesentlich schwächeren Verbindungen zwischen dem zweiten und dritten Halswirbelkörper zuerst nachgeben ⁷⁾,

4) HADLEY 1964

5) Ebenda

6) HYRTL 1889

7) Ebenda

denn die erste Bandscheibe ist die dünnste im Halsbereich. Dies läßt sich insofern auch auf andere Verletzungen übertragen, als der Übergang der oberen zur mittleren HWS, also das erste Bewegungssegment, einen Locus minoris resistentiae darstellt.

Die Kopfgelenke sind weniger gegenüber Zug- oder Horizontalkräften gefährdet als gegenüber den Kräften, die eine forcierte Rotation des Kopfes gegen den Rumpf zur Folge haben ⁸⁾.

Die topographischen Beziehungen zu anderen Organen in diesem Bereich ⁹⁾ sind ebenfalls von Bedeutung, indem sie nämlich für die Gefährlichkeit der Verletzungen in diesem Bereich verantwortlich sind (siehe unten).

Zunächst ist die unmittelbare Nachbarschaft zur Medulla oblongata mit ihren lebenswichtigen Zentren zu nennen, dann die Aa. vertebrales, die in ihrem oberen Verlauf direkt an den Kopfgelenken vorbeiziehen. Sie müssen also einen Großteil der Exkursionen dieses Gelenkes mit einer entsprechenden Längenänderung beantworten. Dabei sind es wieder eher die Rotationen als die sagittalen Bewegungen, welche die Arterien gefährden, denn die Nähe zu den sagittalen Drehpunkten läßt keine großen Längenänderungen in dieser Richtung zu. Die Aa. vertebrales sind in diesem Bereich mit Reserveschlingen ausgestattet, die jedoch bei arteriosklerotisch veränderten Gefäßen keinen großen Ausgleich mehr zu bieten vermögen ¹⁰⁾.

8) GÖGLER 1962, 1968

9) Siehe besonders BROCHER 1955

10) GUTMANN 1962; JUNGHANNS 1966; MÜLLER 1962.

Im venösen System verdienen die epidural gelegenen Plexus venosi vertebrales interni (anterior et posterior) besondere Beachtung. Reich versehen mit Anastomosen und von beträchtlichem Kaliber, liegen sie in unmittelbarer Nachbarschaft der Bänder an der Vorder- und Rückwand des Wirbelkanales ¹¹⁾. Ihre Beteiligung bei allen Arten von HWS-Verletzungen, besonders aber bei Frakturen und Dislokationen, wurde am Lebenden durch die spinale Ossovenographie ¹²⁾ nachgewiesen. Mit der gleichen Methode ließ sich eine Verdrängung dieser Gefäßkomplexe durch spondylotische bzw. osteochondrotische Prozesse nachweisen.

Weiter ist zu bedenken, daß die erste und zweite Nervenwurzel im Gegensatz zu den übrigen nach hinten, zwischen Hinterhaupt und Atlas, hervortreten. Hierin mögen manche Okzipitalneuralgien nach extremer Hyperextension, z.B. beim Schleudertrauma, ihr anatomisches Substrat haben.

Weitere anatomische Besonderheiten bilden die Grundlage einer Reihe für diesen Bereich typischer Verletzungen, die in allen Altersklassen vorkommen ¹³⁾. Dies sind im einzelnen:

Die Frakturen des Dens axis sollen relativ häufig sein und 10 % aller Frakturen im HWS-Bereich ausmachen ¹⁴⁾.

11) CLEMENS 1961

12) LEICHSENRING 1964; CLEMENS 1966, VOGELSANG 1969.

13) KULOWSKI 1960

14) NACHEMSON 1958; BÖHLER 1960.

Sie können schon bei relativ geringer Gewalteinwirkung auftreten und bergen bei Nichterkennung die Gefahr einer Pseudarthrose ¹⁵⁾. Halsmarkverletzungen sind dabei selten, solange keine ventrale oder dorsale Dislokation vorliegt ¹⁶⁾.

Typisch ist auch die von JEFFERSON 1920 erstmalig beschriebene isolierte Berstungsfraktur des Atlas. Dazu kommt es, wenn der Atlas, der als "federnder Träger" zwischen Hinterhaupt und Wirbelsäule eingespannt ist ¹⁷⁾, bei zephalo-kaudal gerichteter Gewalteinwirkung und bei leicht gebeugtem Kopf ¹⁸⁾ einer Zerreißspannung ausgesetzt wird, die zu seiner Sprengung an den schwächsten Punkten des vorderen und hinteren Bogens führt. Die Fragmente werden dabei nach lateral weggedrückt ¹⁹⁾. Die Kraftübertragung wird dadurch begünstigt, daß der Atlas als schwächster Wirbel nicht durch eine Bandscheibe abgefedert ist. Eine Rückenmarksbeteiligung ist bei dieser Fraktur selten ²⁰⁾.

Isolierte Frakturen des ventralen oder dorsalen Atlasbogen können bei der Hyperextension, -flexion vorkommen, wenn der Atlas eine Kippbewegung vollführt, die ihn an der Hinterhauptschuppe oder am kräftigen Axisbogen brechen läßt. Die Fraktur liegt meist lateral ²¹⁾.

15) BÖHLER 1960

16) Ebenda

17) WETZEL 1935

18) HOLDSWORTH 1963

19) WETZEL 1935

20) v. TORKLUS und GEHLE 1970.

21) SICARD et al. (1958) geben an, daß nur 50 Fälle von isolierten Frakturen des Atlasbogen in der Weltliteratur beschrieben wurden. Diese betrafen zumeist den dorsalen Bogen.

Die Fraktur einer Massa lateralis atlantis ist nur bei gleichzeitiger Beugung zu einer Seite möglich ²²⁾, sie ist relativ selten ²³⁾. Bei extremer Retroflexion kommen auch beidseitige Frakturen vor ²⁴⁾.

Frakturen des Axiskörpers kommen vor allem als Vorderkantenabrisse nach exzessiver Hyperextension vor. Dabei werden gleichzeitig das vordere Längsband und die erste Bandscheibe geschädigt.

Luxationen zwischen Atlas und Axis treten bei starker Seitneigung der oberen HWS auf.

Eine Besonderheit stellt der vollständige Abriß des Hinterhauptes von der Wirbelsäule dar ²⁵⁾. Die Gewalteinwirkung kann hierbei direkt am Kopf oder am Rumpf erfolgen. Bei dem zuletzt genannten kommt es dann bei frei beweglichem Kopf zu einer Schleuderung der HWS. HINZ (1970) teilt diesen Verletzungsmechanismus in drei "Grundtypen" ein:

1. Ringförmiger Impressionsbruch der Schädelbasis;
2. durch Traktion bedingter Schädelbasis-Ringbruch infolge abrupter Schleuderwirkung des Kopfes bei der Ante-, Retroflexionsbewegung;
3. Abriß der Verbindung zwischen Os occipitale und Atlas (nur von ventral möglich).

22) KULOWSKI 1960

23) Siehe hierzu den Fall G₁ (Anhang).

24) SICARD et al. 1958

25) VOIGT und WILFERT 1969; GABRIELSEN und MAXWELL 1966; JAROSCH und HINZ 1969.

2.2.2 Die mittlere Halswirbelsäule

Zur mittleren HWS wurden der dritte und vierte Halswirbelkörper mit den entsprechenden kaudalen Zwischen-
scheiben zusammengefaßt. Dieser Bereich findet im allge-
meinen eine geringe Beachtung in der Literatur ²⁶⁾. Eine Häu-
fung von Beschwerden am Übergang von C₃ zu C₄ wird von
HINZ ²⁷⁾ betont.

Der Funktion nach dient dieser Bereich vornehmlich
der Aufhängung des Schultergürtels ²⁸⁾. Die Mm. levatores
scapulae, trapezii und rhomboidei haben hier ihre Ansätze.

Die sagittale Beweglichkeit in diesem Bereich ist
gering. Dagegen sind laterale Beugungsbewegungen begün-
stigt ²⁹⁾. Die Gelenkfortsätze sind hier steiler gestellt.
Daraus resultiert die Bewegungseinschränkung in sagittaler
Richtung.

Topographisch-anatomisch ist bemerkenswert, daß der
Übergang von der mittleren zur unteren HWS gleichzeitig
die Grenze zwischen zwei großen Nervenplexus darstellt.
Die vierte Nervenwurzel ist noch Teil des Plexus cervica-
lis, die fünfte schickt ihre Anteile bereits in den Plexus
brachialis.

26) WOLFF 1962

27) HINZ (1970) fand in diesem Bereich gehäuft Bandschei-
benverletzungen.

28) WOLFF 1962

29) Siehe Tabelle 1.

2.2.3 Die untere Halswirbelsäule

Diesem Abschnitt der HWS kommen in verstärktem Maße dynamische und statische Aufgaben zu. Hier werden gewissermaßen Kopf und HWS über der relativ unbeweglichen Brustwirbelsäule auf einer Fläche mit 2,5 cm $\varnothing$ ³⁰⁾ balanciert. So ist es verständlich, daß dieser Bereich in verstärktem Maße degenerativem Verschleiß und traumatischer Schädigung ausgesetzt ist, wobei zwischen diesen beiden Komponenten eine wechselseitige Beziehung besteht. Dies kommt darin zum Ausdruck, daß in den Statistiken, die sich mit der Lokalisation von Halswirbilverletzungen beschäftigen, der fünfte und sechste Halswirbel besonders häufig betroffen werden (siehe Tab. 24 und 31).

Die große Beweglichkeit der unteren Bewegungssegmente ist zweifellos auf die relative Höhe der Bandscheiben und die Flachstellung der kleinen Wirbelgelenke im Sagittalschnitt zurückzuführen (JUNGHANNS 1966).

2.3 Allgemeine Prinzipien im Bau der HWS

2.3.1 Modellvorstellungen ³¹⁾

Die Konstruktion der HWS wurde von LOB ³²⁾ mit der eines Schiffsmastes verglichen, wobei die Muskeln und Bän-

30) HADLEY 1964

31) Auf mathematische Modelle wird hier nicht eingegangen, sie sind bei MARTINEZ und GARCIA (1968), TARRIERE und SAPIN (1969) und FABRICIUS (1969) zu finden.

32) LOB 1954

der die Vertäuerung darstellen. Dieses Modell stellt die statischen Funktionen in den Vordergrund gegenüber den dynamischen. Andererseits wurde das Modell einer "Biegungsfeder mit einem beweglichen Massenaufsatz" ³³⁾ entwickelt. Der Kopf wird dabei durch die Muskulatur und die elastischen Strukturen (Ligg. flava und Bandscheiben) "wie mit Gummibändern" ³⁴⁾ im Gleichgewicht gehalten. Hier wird das elastische Verhalten der HWS berücksichtigt. Jedoch ist die HWS eben nicht wie ein großer Federstab in sich homogen, sondern sie ist aus Bereichen stark unterschiedlichen mechanischen Verhaltens zusammengesetzt. Dem tragen neuere Vorstellungen Rechnung ³⁵⁾, die aus dem Studium von Schleuderversuchen mit Leichen, bei denen Filme mit Schnellbildkameras angefertigt wurden, entwickelt wurden. Hier wird die HWS als gebogener Stab, der federt und zwei Gelenke am oberen und unteren Ende hat, beschrieben.

2.3.2 Die Zwischenwirbelscheiben

Entscheidend für das Bewegungsverhalten der HWS ist der mechanische und chemische Zustand der Zwischenwirbelscheiben. Diese wurden von JUNGHANNS ³⁶⁾ als Mittelpunkt des "Bewegungssegmentes" beschrieben. Auch entwicklungsge-

33) "spring mass system" bei KULOWSKI 1960.

34) HADLEY 1964

35) FIALA, CLEMENS und BUROW 1970.

36) JUNGHANNS 1968

schichtlich ist die Bandscheibe als Rest der Chorda dorsalis nach allgemeiner Ansicht Mittelpunkt und nicht Begrenzung der Glieder, aus denen sich die Wirbelsäule zusammensetzt 37).

Die Bandscheibenform wird keilförmig beschrieben 38). Neuerdings wird jedoch angegeben, daß diese nach hinten abfallende Keilform nur bei einer mittleren Haltung der HWS gegeben ist 39). Die Kontur der Bandscheibe ist auf Grund der Krümmung der Abschlußplatten schalenförmig (konvex-konkav) 40).

Große Bedeutung bezüglich der Belastbarkeit der HWS kommt dem vom Faserring umschlossenen Nucleus pulposus zu 41), der wegen seiner gallertigen Konsistenz reversibel verformbar ist. Er funktioniert dabei wie ein Wasserkissen oder wie eine Sprungfeder 42). Einer horizontalen Verschiebung wirken der Faserring und die beiden Längsbänder entgegen, die fest mit dem Anulus fibrosus verwachsen sind 43).

Im Laufe des Lebens unterliegen die Zwischenwirbelscheiben komplizierten Veränderungen 44). Gefäße lassen

37) TÖNDURY 1958; BAUR 1969.

38) FICK 1911

39) DREXLER 1962

40) Ebenda

41) BAILEY 1963

42) TÖNDURY 1965

43) STOFFT 1968; RETTIG und KOLLMANN 1967.

44) Für das Folgende siehe besonders TÖNDURY (1958 u. 1965); BROCHER (1966); HODGSON (1969); KNESE (1962).

sich schon beim Vierjährigen nur noch am Rande der Scheibe finden. Allmählich nimmt durch Schrumpfung aufgrund einer Dehydrierung der Quellungsdruck des Nucleus pulposus ab. Gleichzeitig werden Knorpelgewebe und Kalksalze eingelagert. Die Elastizität der Wirbelsäule nimmt ab, die Intervertebralräume werden schmaler. Es treten jetzt, besonders im oberen HWS-Bereich, seitliche Einrisse am Faserring auf (Randspalte). Dadurch kommt es zu einer Lockerung im Bewegungssegment. Dieser Vorgang ist fortschreitend, bis die Bandscheibe quer halbiert ist ⁴⁵⁾. Das Bewegungssegment wird nur noch durch die langen Bänder und die an den Wirbelbögen ansetzenden Bänder zusammengehalten sowie durch die Gelenkfortsätze abgestützt. Die seitlichen Spalte erhalten eine gelenkartige Auskleidung. Es kommt zu einer Kommunikation zwischen Gallertkernhöhle und paravertebralem Gewebe. Die Zwischenwirbelscheiben fallen zusammen, die Processi uncinati werden im Halsbereich zu Stützorganen der Wirbelkörper. Es bilden sich dabei echte Tragegelenke mit Gelenkkopf und -pfanne. Gallertkernprotrusionen können dabei wegen der Nähe zu den Spinalnerven Kompressionserscheinungen hervorrufen ⁴⁶⁾.

Bezüglich des Vorkommens der degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen "Spondylosis deformans", "Osteochondrosis intervertebralis" und "Spondylarthrose" besteht ein grundlegender Unterschied zwischen der mittleren und

45) Siehe auch ECKLIN 1960

(Spaltbildungen in den oberen drei Bandscheiben treten schon bei neunjährigen Kindern auf - TÖNDURY 1958 -).

46) FRIEDENBERG et al. 1959.

der unteren HWS. Die Spondylarthrose tritt gehäuft im zweiten und dritten Bewegungssegment auf. Dagegen haben die Spondylosis deformans und die Osteochondrose ihren Häufigkeitsgipfel im vierten und fünften Bewegungssegment, also auf Höhe von C₅ und C₆ ⁴⁷⁾. Auch die Bandscheibenprolapse sind an der unteren HWS dreimal häufiger als an der mittleren.

Die spondylotischen Randzacken können bei entsprechender Lokalisation zu einer Einengung des Spinalkanals führen. Sie werden somit bei entsprechender Vorwölbung der gelben Bänder zu einem begünstigendem Moment für das Zustandekommen eines "Kneifzangenmechanismus" ⁴⁸⁾ bei Hyperextension der HWS ⁴⁹⁾.

Das Vorkommen von Menisci in den kleinen Wirbelgelenken, das von vielen Autoren bestätigt wurde ⁵⁰⁾, ist ebenfalls als mögliche Verletzungsquelle zu verzeichnen. Eine Einklemmung dieser Menisci bei Seitbeugung, Rotation und evtl. auch bei einer Hyperextension soll zur "akuten Wirbelgelenksblockierung" führen ⁵¹⁾.

2.3.3 Bewegungshemmung und Belastbarkeit

Eine Einschränkung der Bewegungen der Wirbelsäule

47) AUFDERMAUR 1960; TÖNDURY 1965; WOLFF 1962.

48) KUHLENDahl 1964; HODGSON 1969.

49) Im höheren Alter wird durch zunehmende Blockwirbelbildung die Stabilität im Bewegungssegment wieder hergestellt, auf Kosten einer aufgehobenen Beweglichkeit.

50) LUSCHKA 1862; FICK 1904; TÖNDURY 1965; ZUKSCHWERDT et al. 1960.

51) Siehe besonders ZUKSCHWERDT (1959 und 1962), auch DÖRR (1958), EMMINGER (1966), JUNGHANNS (1966).

kommt auf zweierlei Weise zustande ⁵²⁾. Zum einen besteht eine relative Bewegungshemmung durch die Muskeln und Bänder, zum anderen resultiert eine absolute Hemmung der Bewegungen aus der Aufeinanderstauchung der Gelenk- und Dornfortsätze. Die "Bänderhemmung" bietet wegen der geringen Dehnbarkeit der kollagenen Strukturen wenig Spielraum, während bei der Muskelhemmung größere Bewegungsmöglichkeiten bestehen. Dabei sind die Abstufbarkeit der Muskelkraft und der exponentielle Verlauf der Ruhedehnungskurve von Bedeutung für die Aufrechterhaltung des muskulären Gleichgewichtes, ebenso wie die propriorezeptiven und programmatischen Muskelreflexe ⁵³⁾. Zur relativen Bewegungshemmung gehört hier auch die Blockierung durch benachbarte Körperteile. Zum Beispiel wird die Anteflexion durch die dazwischen gelagerten Weichteile und im Extremfall durch das Auftreffen des Kinns am Thorax gebremst. Zu ergänzen ist noch, daß die Bandscheiben in der Lage sind, einen beträchtlichen Teil der kinetischen Energie durch ihre Verformung aufzunehmen. Eine Druckbelastung der Bandscheibe mit einem Gewicht von 100 kg führt zu einem Höhenverlust von 1,5 mm und einer Breitenzunahme von 0,75 mm ⁵⁴⁾. Schnelle Stöße haben ein Oszillieren der Bandscheibe zur Folge ⁵⁵⁾. Die gesamte HWS ist um 8 % ihrer normalen Länge zusammendrückbar ⁵⁶⁾.

52) FICK 1911

53) HUFSCHMIDT 1962

54) HIRSCH u. NACHEMSON zit. nach JUNGHANNS 1968.

55) Ebenda

56) LUSCHKA 1862

2.3.4 Der Bandapparat

Da an der HWS das Prinzip, daß Knochen brechen, ehe Bänder reißen, zumindest für den mittleren und unteren Bereich nicht gilt, ist die Widerstandsfähigkeit der Haltebänder von besonderer Bedeutung für das Entstehen von Verletzungen.

Das vordere Längsband hat einen mehrschichtigen Aufbau. Die einzelnen Schichten sind durch ein "scherengitterartiges" Netzwerk miteinander verbunden und strahlen in die Wirbelkörper sowie in die Faserringe ein ⁵⁷⁾. Dieser Aufbau gestattet es dem Band, welches arm an elastischen Fasern ist, dennoch alle Bewegungen der Wirbelsäule mitzumachen. Im Halsbereich ist das vordere Längsband am dünnsten ⁵⁸⁾. Die tiefsten Schichten setzen an jedem Faserring neu an, während die oberflächlichen vier bis fünf Wirbel überspringen können ⁵⁹⁾. Die Zerreißgrenze des Bandes liegt bei 170 kg ⁶⁰⁾.

Das hintere Längsband ist etwas kräftiger als das vordere. Der Aufbau ist der gleiche ⁶¹⁾. Eine der Funktionen dieses Bandes ist die Abstützung des Nucleus pulposus nach dorsal, durch eine Unterstützung des Faserringes ⁶²⁾. Zahlenangaben über die Festigkeit dieses Ban-

57) STOFFT 1968

58) FICK 1904

59) Ebenda

60) DAVIS 1938

61) FICK 1904

62) STOFFT 1968

des konnten nicht gefunden werden. Nach RETTIG und KOLLMANN (1967) enthält dieses Band ebenfalls elastische Fasern.

Die gelben Bänder sind gut dehnbar und ziehen sich nach der Durchtrennung stark zusammen ⁶³⁾. Sie sind im HWS-Bereich 2 cm breit, 1 cm hoch und etwa 0,3 cm dick ⁶⁴⁾. Sie ziehen von der Vorderfläche des höheren zur Ober-Hinterfläche des niedrigeren Wirbelbogens und bilden zusammen mit den Wirbelbögen die Hinterwand des Wirbelkanals. Bei der Extension der HWS wölben sie sich nach ventral vor. Durch einen Synovialsack werden sie von den Ligg. interspinalia getrennt.

Letztere strahlen am Hals in das Lig. nuchae ein, das direkt von der Protuberantia occipitalis zum siebenten Halswirbeldornfortsatz zieht. Durch diese Bänder wird ein direkter knöcherner Kontakt zwischen den Dornfortsätzen bei der Hyperextension verhindert und die Hyperflexion gehemmt.

2.3.5 Das muskuläre Gleichgewicht

Das Gleichgewicht des Kopf-HWS-Systems wird vor allem durch die Muskulatur aufrechterhalten. Dies zeigt sich z.B. daran, daß der Kopf bei einer Verminderung des Muskeltonus im Schlaf oder in der Narkose in eine der Schwerkraft entsprechende Extremhaltung fällt.

Dieses Gleichgewicht ist sehr leicht durch eine un-

63) WANKE, MAATZ, JUNGE und LENTZ 1962.

64) FICK 1904

erwartete Gewalteinwirkung (z.B. beim "Schleudertrauma") zu durchbrechen. In diesem Zusammenhang fällt eine Diskrepanz in der Querschnittsgröße der ventral von den Drehpunkten ansetzenden, also beugenden Muskulatur und der dorsal davon inserierenden, streckenden Muskeln auf. Die Nackenmuskulatur übertrifft die prävertebrale Muskulatur bei weitem an Querschnitt. Beugend wirken neben dem dünnen M. longus capitis und M. longus colli auch die obere und untere Gruppe der Zungenbeinmuskeln sowie die Mm. scaleni. Genaue Querschnitte wurden an diesen Muskeln bestimmt ⁶⁵⁾. Die Summe der maximalen Querschnitte der prävertebralen Muskeln (beide Seiten zusammen) beträgt 2,4 cm² auf Höhe des ersten Halswirbels und 2,2 cm² auf Höhe von C₃. Die kaudale Zungenbeinmuskulatur hat bei Männern einen Gesamtquerschnitt von 2,8 cm² und bei Frauen von 2,0 cm². Für die kraniale Zungenbeinmuskulatur ließ sich ein solcher Summenwert wegen der unterschiedlichen Faserrichtungen der einzelnen Muskeln nicht angeben ⁶⁶⁾.

Eine Sonderstellung nimmt hier der M. sternocleidomastoideus ein, der nur aus einer Mittelstellung von Kopf und HWS heraus eine beugende Funktion entwickelt, während er in einer Streckhaltung diese durch seine Kontraktion noch verstärkt ⁶⁷⁾.

Messungen der Längenänderung der direkt vor der HWS

65) SINGLE

66) Alle Querschnittsgrößen ebenda.

67) LUSCHKA 1862; TARRIERE und SAPIN 1969; SINGLE

gelegenen Prävertebralmuskulatur ergaben, daß diese bei der Retroflexion relativ klein sind. Und zwar wird der M. longus capitis um 18 - 20 % seiner Ausgangslänge gedehnt, der M. longus colli um 14 - 16 % ⁶⁸⁾. Da jedoch ein Muskel reversibel auf das Doppelte seiner Länge gedehnt werden kann ⁶⁹⁾, ist eine Zerreißung dieser Muskulaturbänder nur bei gleichzeitiger Zerstörung des Bewegungssegmentes denkbar, bei der es aufgrund lokaler Zunahme der Beweglichkeit zu einer umschriebenen Dehnung dieser Muskeln kommen kann, die durch Sehnenansätze mit den einzelnen Wirbeln fest verbunden sind. Eine andere Verletzungsmöglichkeit darf nicht übersehen werden, nämlich eine starke Zerrung aufgrund einer Krafteinwirkung im Moment der Kontraktion ⁷⁰⁾.

Durch ihren Gehalt an langen, schlanken Sehnen, die jeden Muskelbauch von Ursprung bis Ansatz durchziehen ⁷¹⁾, sind die prävertebralen Muskeln in der Lage, eine große Menge an kinetischer Energie zu speichern und später wieder freizugeben ⁷²⁾.

Messungen der muskulären Beugekräfte am Hals ergaben vorläufige Resultate von 20 - 30 kp ⁷³⁾. Für die

68) Alle Meßwerte siehe SINGLE

69) STRASSER 1908

70) HILL (1951), IKEDA et al. (1969) fanden in Tierversuchen (Affen) nur Muskelblutungen, keine Zerreißen.

71) SINGLE

72) HILL 1951

73) CLEMENS persönliche Mitteilung

Nackenmuskulatur liegen solche grundlegenden Untersuchungen zur Zeit noch nicht vor. Gewiß ist aber aufgrund größerer Querschnitte mit höheren Kräften zu rechnen. Verglichen mit den bei einer "Schleuderung" während eines "Auffahrunfalles" frei werdenden Beschleunigungskräften ist die muskuläre Abwehrmöglichkeit jedoch gering einzuschätzen (SINGLE).

3. Verletzungsmechanik

3.1 Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule

(Schleudertrauma, Peitschenschnurverletzungen,
Schnickverletzungen, Whiplash Injury)

Der Begriff "Schleuderverletzung" ist ausschließlich die Bezeichnung eines Verletzungsmechanismus, nicht etwa eine Diagnose oder ein posttraumatisches Syndrom. Die Definition dieses Begriffes ist in der Literatur durchaus unterschiedlich. Als "Whiplash Injury" wurde erstmals ⁷⁴⁾ eine Verletzungsursache beschrieben, die darin besteht, daß ein Körper von rückwärts eine Beschleunigung erfährt, die wegen der Trägheit des Kopfes und der Beweglichkeit der HWS zu Extrembewegungen des Kopf-HWS-Systems in sagittaler Richtung führt. Allerdings wurde zunächst in den ersten Arbeiten ⁷⁵⁾ der Mechanismus falsch beschrieben. SCHÄFER ⁷⁶⁾ stellt dies richtig und gibt somit die erste korrekte Beschreibung des Schleudervorganges.

Die Folgen eines solchen Unfalles wurden bereits frühzeitig ⁷⁷⁾ bei Marinefliegern nach Katapultstarten beobachtet.

Bei einem Auffahrunfall erleiden die Insassen des vorderen Fahrzeuges dadurch, daß sie über den Sitz fest

74) DAVIS 1945

75) GAY und ABBOT (1953), ZUKSCHWERDT (1962) sprechen von einer primären Anteflexion beim Auffahrunfall.

76) SCHÄFER 1953

77) MCINTIRE verweist 1957 auf erste Beobachtungen aus dem Jahre 1920; siehe auch EMMINGER 1966.

mit ihrem Fahrzeug verbunden sind, eine Beschleunigung, die eine gewisse Verzögerung hat und für den Kopf höher ist als die des Wagens ⁷⁸⁾. Sie richtet sich nach der Geschwindigkeit der beiden Fahrzeuge sowie nach deren Massenverhältnis. Die Übertragung der Beschleunigungskräfte auf den Körper ist in starkem Maße von der Polsterung und Verankerung von Sitz und Rücklehne abhängig. Im Idealfall wird sich die Lehne bei einer entsprechenden Belastung durch den Körper mit einem Biegemoment von 200 mkg nach hinten wegdrehen ⁷⁹⁾. Der Drehpunkt sollte dabei unter der Sitzfläche liegen, um zusätzliche Belastungen der Lendenwirbelsäule zu vermeiden ⁸⁰⁾.

In jedem Fall, in dem der Rumpf plötzlich stark beschleunigt wird, bleibt der Kopf entsprechend seiner Trägheit zunächst hinter dem Rumpf zurück. Die HWS, die die Kraftübertragung übernehmen könnte, ist nicht fest, sondern gibt den Kräften nach und biegt sich nach hinten durch. Dies ist die erste Phase des Schleudervorganges, die Hyperextension. Die HWS biegt sich solange nach hinten durch, bis ihre Haltestrukturen einen Widerstand bieten ⁸¹⁾. In einem Moment sind die Beschleunigung des Rumpfes und des Kopfes gleich, weil die HWS nicht weiter nachgibt und

78) GÖGLER 1968; MARTINEZ und GARCIA 1968.

79) FABRICIUS 1969

80) Ebenda

81) IKEDA et al. (1969) fanden bei Versuchen mit Rhesusaffen, daß zunächst die untere HWS nach hinten gebogen wird, die obere HWS und der Kopf schließen sich mit ihren Rückwärtsbewegungen an.

somit eine feste Verbindung zwischen beiden Teilen besteht. Die Fahrzeugbeschleunigung nimmt nach einem Gipfel sofort wieder ab. Am schnellsten wird diese Abnahme sein, wenn der Wagen vorn auf ein Hindernis prallt (Serienauf-fahrungsfall)⁸²⁾. Der Rumpf wird verzögert durch seine eigene Trägheit, durch einen Anprall (Steuerrad, Armaturenbrett oder Vordersitz), durch ein Abstützen mit den Armen oder durch die Haltekräfte der Sicherheitsgurte⁸³⁾. Der mit einer Verspätung beschleunigte und nicht abgebremste Kopf führt nun eine zweite Relativbewegung durch, diesmal aber in der Gegenrichtung, nach vorn. Diese Bewegung wird noch dadurch gefördert, daß die vorher deformierten elastischen Strukturen wieder ihre ursprüngliche Form annehmen, und durch eine reaktive Kontraktion der vorher gedehnten Beugemuskulatur⁸⁴⁾. Dieser sekundäre "Gegenschlag" ist auch in Puppen- und Leichenversuchen⁸⁵⁾ zu beobachten.

In beiden Phasen bewegen sich Kopf und HWS auf einer Kreisbahn, die ihren Mittelpunkt auf Höhe des fünften und sechsten Halswirbels hat⁸⁶⁾. Die Bewegung beginnt im

82) BÜRKLE DE LA CAMP 1961

83) HAWKES 1957

84) BÜTTNER 1959; GURDJIAN et al. 1966.

85) FABRICIUS 1969; SEVERY et al. 1968; CHANDLER et al. 1969; FIALA, CLEMENS und BUROW 1970; SOLLMANN 1967; GURDJIAN et al. 1966; HINZ, COERMANN und LANGE 1969; HINZ 1970. Tierversuche findet man bei IKEDA et al. (1969), MARTINEZ und GARCIA (1968), WICKSTROM et al. (1965). ROBERT und LISSNER (1966) fanden vergleichbare Resultate bei Versuchen mit lebenden und toten Tieren.

86) SOLLMANN 1968; MARTINEZ 1968.

unteren Bereich der HWS und endet mit einer Extreimbewegung in den Kopfgelenken. Bei der Hyperflexion ist diese letzte Bewegung nicht so ausgeprägt, weil das Kinn durch die Halseingeweide und den Thorax abgebremst wird. Bei der Rückbeugung entsteht der Eindruck einer Verkürzung der HWS beim Vorschleudern der einer Längenzunahme⁸⁷⁾. Aus diesem Grunde sind die üblichen Bezeichnungen *H y p e r - f l e x i o n* und *H y p e r e x t e n s i o n* eigentlich irreführend und es sollte besser von einer Ante-flexion und einer Retroflexion gesprochen werden⁸⁸⁾.

Die auftretenden Beschleunigungsspitzen hängen auch von der Masse des Kopfes in Relation zum Körpergewicht ab. Deshalb sind Kinder für Schleuderverletzungen besonders prädisponiert⁸⁹⁾. Die Größe der auf Kopf und HWS wirkenden Rotations- und Translationsbeschleunigungen übersteigt dabei die Fahrzeugbeschleunigung⁹⁰⁾.

Der Schädelinhalt erfährt ebenfalls eine Beschleunigung, so daß es unter der Einwirkung der auftretenden Horizontal- und Rotationsbeschleunigungen zu Relativbewegungen des Gehirns im Schädel kommt. Dies erklärt das Auftreten von Schädel-Hirn-Traumen, ohne daß ein Schädel-

87) FIELDING zit.nach KULOWSKI 1960; CLEMENS persönliche Mitteilung.

88) Siehe auch MÜLLER 1966.

89) ROGERS und SILVER (1968), BURDI et al. (1969), MARTINEZ und GARCIA (1968) weisen darauf hin, daß auch Schutzhelme die Kopfbeschleunigung stark erhöhen können.

90) GÖGLER 1968; MARTINEZ und GARCIA 1968.

anprall stattgefunden hat ⁹¹⁾. Die Häufigkeit von solchen Hirnbeteiligungen schwankt zwischen 30 % ⁹²⁾ und 62 % ⁹³⁾.

Es ist einzusehen, daß es zu dem gleichen Verletzungsmechanismus in umgekehrter Richtung kommt, wenn ein Fahrzeug frontal auf ein Hindernis prallt und der Fahrzeuginsasse durch einen Sicherheitsgurt fest mit dem Sitz verbunden ist. Dann wird sein Rumpf eine Beschleunigung erfahren, die in Richtung und Größe der des Wagens entspricht. Daraus resultiert eine primäre Anteflexion, die sekundär von einer Retroflexion gefolgt wird ⁹⁴⁾. Dies gilt auch für die Fälle, wo ein Passagier aus anderen Gründen an den Sitz fixiert ist, z.B. wenn das Steuerrad gegen seinen Thorax gedrängt wird. Der Mechanismus der "Schleuderung nach vorn" wurde schon frühzeitig beschrieben ⁹⁵⁾. Mit der zunehmenden Benutzung von Sicherheitsgurten ist auch eine Zunahme dieser Art von Schleuderverletzungen zu erwarten ⁹⁶⁾.

Auch bei einem seitlichen Anprall kommt es zu einem Schleudertrauma, wenn der Rumpf fixiert ist und der Kopf nicht von einem Hindernis gebremst wird ⁹⁷⁾. Bei ei-

91) MARTINEZ 1968; MARTINEZ und GARCIA 1968; BÜTTNER 1959; MÜLLER 1966; OMMAYA et al. 1966; SASS 1969; JANZEN 1966; JUNGHANNS 1970.

92) GAY und ABBOT 1953 (50 Fälle); MÜLLER 1962.

93) VOLLMAR 1957; eigene Ergebnisse: 28 % (s. S. 50).

94) GÖGLER 1962 und 1968.
Deshalb sollen Sicherheitsgurte eine gewisse Dehnbarkeit haben und keinen starren Widerstand bieten.
GÖGLER 1961.

95) DAVIS 1945

96) BÜTTNER 1959; MOSER 1962; GRIME 1968. Zur verletzungs-mindernden Wirkung der Sicherheitsgurte siehe GÖGLER (1961), FRIEDHOFF (1961).

97) TÄGER 1967; HINZ 1970; GÖGLER 1962 und 1968.

nem Anprall von links ist so mit einem Hin- und Herschlagen des Kopfes zunächst nach links, dann nach rechts zu rechnen. Hier treten jedoch auch Rotationsbewegungen der HWS um die eigene Achse auf, da eine reine Seitbeugung selten ist (siehe oben).

Schließlich kann es bei bestimmten Unfällen, z.B. bei einem Überschlagen des Autos, zu einer Reihe von Schleuderbewegungen in den verschiedensten Richtungen kommen, solange Kopf und HWS frei beweglich sind ⁹⁸⁾.

Es ist auch nicht sinnvoll, Schleuderverletzungen nur bei Kraftfahrern anzunehmen. Ein angefahrener Fußgänger, bei dem der Rumpf stark beschleunigt wird, erleidet ebensolche "Verbiegungen" der HWS wie sie eben beschrieben wurden ⁹⁹⁾. Die Richtung der Schleuderung richtet sich danach, von welcher Seite der Betreffende angefahren wird.

Die allgemeinste Definition eines Schleudertraumas lautet, daß alle Verletzungen der HWS, bei denen die Kraftübertragung in Form einer "offenen kinetischen Kette" erfolgte, in dieser Gruppe einzuordnen sind ¹⁰⁰⁾. In den anderen Fällen mit einer direkten Gewalteinwirkung am Schädel wird ein Teil der Kräfte schon zur Deformierung und Verletzung des Kopfes führen. Somit wird schon beim Anprall eine gewisse Menge an kinetischer Energie verbraucht ¹⁰¹⁾. Außerdem treten bei solchen "geradlinig" an-

98) GÖGLER 1962 und 1968

99) MERLI und MARCHIORI 1969; HINZ 1970.

100) KULOWSKI 1960

101) Der Kopfanprall verändert auch den typischen mehrphasigen Ablauf der Schleuderung und unterbricht die gleichmäßige "kreisförmige" Bewegung des Kopf-HWS-Systems.

setzenden Kräften vermehrt stauchende und scherende Gewalten auf. Bei den durch die Summe der Rotations- und Translationsbeschleunigungen bestimmten Schleuderverletzungen stehen dagegen Zug- und Rotationskräfte im Vordergrund. Vier Bedingungen entscheiden hier über den Effekt der einwirkenden Kräfte ¹⁰²⁾: a) Die Richtung der Gewaltwirkung, b) die Stellung des Kopfes, c) die Stellung des Halses, d) die Haltung des Körpers.

Von einigen Autoren ¹⁰³⁾ wird darauf hingewiesen, daß es wichtig sei, ob der Unfall vorhergesehen wurde oder nicht. Im ersten Fall könnten auf der Grundlage einer vermehrten muskulären Abwehrspannung Scherkräfte auftreten. Hier sei jedoch auf die geringen Querschnitte und den schlechten Wirkungsgrad der die Rückbeugung hemmenden Muskeln hingewiesen ¹⁰⁴⁾.

Die einwirkenden Kräfte sind groß. 3 bis 12 g wirken auf den Kopf bei Auffahrunfällen mit 20 bis 50 km/h ¹⁰⁵⁾.

Eine Einschränkung der Schleuderverletzungen im engeren Sinn auf die Auffahrunfälle von hinten ¹⁰⁶⁾ ist nur dann sinnvoll, wenn man mit diesem Verletzungsmechanismus eine Verletzungsdiagnose verbinden will; jedoch können selbst bei einer solchen Einschränkung noch verschiedene Verletzungsfolgen auftreten.

102) OMMAYA et al. 1966

103) BÜRKLE DE LA CAMP 1959; KUHLENDahl 1966; GIEBEL 1966; SCHLEGEL 1968.

104) SINGLE

105) SEVERY et al. 1968 und 1955

106) GÖGLER 1962; KUHLENDahl 1964; JANZEN 1966; MÜLLER 1966; JUNGHANNS 1968; EMMINGER 1970.

So erscheint es angebrachter, alle Fälle von indirekter Krafteinwirkung auf Kopf und HWS ("offene kinetische Kette") zu den Schleuderverletzungen im engeren Sinn zu rechnen ¹⁰⁷⁾. Eine Präzisierung durch die Angabe der durch die Hauptkräfte hervorgerufenen Schleuderungsrichtung ist angebracht: z.B. "Schleuderung nach hinten" beim Auffahrunfall, "Schleuderung nach vorn" beim Frontalanprall oder "seitliche Schleuderung".

Beweisend für das Vorliegen eines Schleudermechanismus ist neben dem Unfallhergang das Vorliegen einer HWS-Verletzung bei fehlender direkter Gewalteinwirkung am Kopf ¹⁰⁸⁾

Im Gegensatz dazu stehen die Fälle von Hyperextensions- oder Hyperflexionsverletzungen mit einphasigem Ablauf bei direkter Gewalteinwirkung am Kopf und somit direkter Kraftübertragung (siehe unten).

3.2 Retroflexionsverletzungen (Hyperextensionsverletzungen)

Alle Kräfte, die direkt am Schädel ansetzen und deren verlängerte Vektoren die Ebene, auf der der Schädel-schwerpunkt und die beiden Drehpunkte des oberen Kopfge-lenkes liegen, von ventral kommend schneiden, führen zu einer Retroflexion des Kopf-HWS-Systems. Je weiter seitlich der Ansatz der Kräfte liegt, desto stärker ist die

¹⁰⁷⁾ COMPERE 1957

¹⁰⁸⁾ Siehe dagegen VOLLMAR (1957), GÖGLER (1962), MÜLLER (1966), JUNGHANNS (1968) und HINZ (1970), die einen "primären" oder "sekundären" Kopfanprall bei den Schleuderverletzungen im weiteren Sinn nicht ausschließen.

begleitende Rotation um die senkrechte Achse. Je steiler die Kräfte von kranial auftreffen, um so größer ist die Stauchung; je steiler von unten sie kommen (z.B. Aufwärts-haken beim Boxen), desto stärker ist die zusätzliche Zugbelastung.

Diese Verletzungen treten bei Autoinsassen auf, wenn im Falle eines frontalen Zusammenstoßes der Gesichtsschädel verletzt wird ¹⁰⁹⁾. Fußgänger, die von vorn angefahren werden, können mit dem Gesicht auf das Fahrzeug oder auf die Straße prallen ¹¹⁰⁾. Häufig fallen Personen, die ohnmächtig werden, ebenfalls auf das Gesicht. Der Sturz aus der Höhe oder der Kopfsprung in flaches Wasser führen zu einer Retroflexion, wenn die Betroffenen mit dem Gesicht aufschlagen. Modellhaft kann man den Mechanismus der Retroflexion bei Zeitlupenaufnahmen von Boxkämpfen sehen, wenn das Gesicht getroffen und der Kopf zusammen mit der HWS zurückgebogen wird. Dabei ist besonders gut eine Verkürzung des Halses im Zustand maximaler Überstreckung zu beobachten.

Ältere Menschen sind gegenüber diesem Verletzungsmechanismus stärker gefährdet als jüngere, da bei ihnen auf Grund einer altersmäßigen Versteifung der HWS die Fähigkeit zur "reflektorischen Anteflexion" im Sinne eines Abwehrreflexes, wie man ihn bei jungen Leuten als "Kopfeinziehen" im Moment einer drohenden Gewalteinwirkung beobachten kann, fehlt ¹¹¹⁾.

109) GÜGLER 1962

110) HINZ 1970

111) GELEHRTER und VITALLI 1961.

Bei der Retroflexion werden die vorderen Strukturen der HWS auf Zug, die dorsalen auf Druck beansprucht.

Eine wesentliche Rückbeugehemmung kommt dem vorderen Längsband zu ¹¹²⁾. Bei der Durchtrennung dieses Bandes und einem dann leicht möglichen Einriß des Anulus fibrosus an der Vorderseite kommt es zu einer wesentlichen Erhöhung der Beweglichkeit im Bewegungssegment und somit zu einer deutlichen Verstärkung der Rückbeugung ¹¹³⁾.

Bei intaktem vorderem Bandapparat kommt dem Aufeinanderstauchen der Dornfortsätze ebenfalls eine Hemmwirkung zu. Obwohl durch die dazwischen gelagerten Bänder gepolstert, kann es dabei zu einem Abbruch besonders eines der unteren Dornfortsätze kommen.

Ein Aufklappen des Bewegungssegmentes durch Zerstörung des Längsbandes und Reißen der Bandscheibe führt zu einer starken Kompression des Rückenmarks ¹¹⁴⁾. Im Extremfall kann dabei sogar das hintere Längsband von der Rückseite des Wirbelkörpers gelöst werden ¹¹⁵⁾. So kommt eine echte Rückversetzung des Halswirbels zustande ¹¹⁶⁾. Es wurden auch isolierte vollständige oder teilweise Risse der Bandscheiben gefunden. Diese Verletzungen sind wegen des drohenden Diskusprolapses in ihrer Gefährlich-

112) DAVIS 1945

113) STROHAL (1957), HOLDSWORTH (1963) sprechen dann von instabilen ("unstable") Verletzungen.

114) GELEHRTER (1957) beschreibt drei solche Fälle, die alle zur Querschnittslähmung führten.

115) ohne Ruptur des Bandes (!)

116) KULOWSKI 1960

keit nicht zu unterschätzen 117).

Das Rückenmark kann bei einer extremen Retroflexion verletzt werden, ohne daß eine Verletzung des Halteapparates vorliegt. Grundlage einer solchen "zentralen Halsmarkläsion" 118) ist der oben beschriebene "Kneifzangenmechanismus" 119).

Nervenzwurzelverletzungen können bei Frakturen und Luxationen sowie auf der Grundlage bestehender degenerativer Veränderungen am Wirbelkanal auftreten 120).

Durch die am Zungenbein verankerten Muskeln treten mitunter bei der Streckung des Halses, mit starker Zugbeanspruchung der kranialen und kaudalen Zungenbeinmuskulatur, Verletzungen des Zungenbeins auf 121).

Im Bereich der oberen Halswirbel können auf Grund der dortigen anatomischen Besonderheiten Frakturen oder Luxationsfrakturen des Dens und des Atlas auftreten 122).

3.3 Anteflexionsverletzungen (Hyperflexionsverletzungen)

Kräfte, die am Kopf ansetzen und deren verlängerte Vektoren die Ebene des Schwerpunktes und der sagittalen Drehachse des Kopfes von dorsal schneiden, führen zu einer

117) Siehe auch LOB (1954), BAILEY (1963), JUNGHANNS (1966) und HINZ (1970). Nach DUBOIS (1960) treten isolierte Bandscheibenrisse nur bei bestehender Degeneration auf.

118) BUFE 1937; SCHNEIDER et al. 1954; TAYLOR 1957.

119) BÖHLER 1960; BÜRKLE DE LA CAMP 1961; GELEHRTER und VITALLI 1961; KUHLENDahl 1964; JUNGHANNS 1966.

120) JANZEN 1966

121) TAMASKA und HINZ 1969; HINZ 1970.

122) MÜLLER 1966. Nach BÖHLER (1960) sind diese Verletzungen bei der Anteflexion seltener.

Anteflexion von Kopf und HWS. Auch kann bei fixiertem Kopf der Rumpf gewaltsam nach rückwärts bewegt werden, so daß es zu einer Hyperflexion kommt.

Bei der Vorbeugung entsteht der Eindruck einer Längenzunahme des Halses (siehe oben). Dies hat seinen Grund neben der tatsächlichen Streckung der HWS darin, daß der Kopf, bevor es zu einer Abknickung in den Kopfgelenken kommt, durch die Interposition von Halseingeweiden abgebremst wird. Der Hals kann dabei weiter nach vorn gebeugt werden, indem das Kinn auf der Brust nach unten rutscht. Die Knickung in den Kopfgelenken bleibt dabei gehemmt.

Die Häufigkeit dieses Verletzungsmechanismus beruht vor allem darauf, daß als Schutzhaltung häufig eine Hyperflexion angestrebt wird (siehe oben). Aber auch bei Sportunfällen ist die Anteflexion häufig. Ebenso resultiert beim Fallen eines schweren Gegenstandes auf den leicht gebeugten Kopf eine Anteflexion.

Bei diesem Verletzungsmechanismus sind es vor allem die Bänder und Muskeln des Nackens, die einer Zugbeanspruchung unterliegen. Eine Zerreißung des dorsalen Bandapparates ¹²³⁾ und der Kapseln der kleinen Wirbelgelenke führt zu einer ventralen Luxation eines Halswirbels. Diese kann bei maximaler Beugung beidseitig auftreten oder ein-

123) Nach GELEHRTER und VITALLI (1961) ist diese zumeist inkomplett. HOLDSWORTH (1963) gibt an, daß eine solche Verletzung nur bei gleichzeitiger forcierter Rotation zustandekommt. Dies konnte durch neuere experimentelle Ergebnisse (CLEMENS et al. 1970) nicht bestätigt werden (siehe auch Torso Nr. 477 im Anhang).

seitig, wenn eine starke rotatorische Komponente beteiligt ist ¹²⁴⁾. Eine Wirbelbogenfraktur kann eine drohende Einengung des Wirbelkanals verhindern und damit lebensrettend sein ¹²⁵⁾. Eine Luxation von Halswirbeln ist immer mit einer Bandscheibenverletzung verbunden ¹²⁶⁾.

Anteflexionsverletzungen gelten wegen des fehlenden knöchernen Widerlagers auf der Ventralseite der HWS als besonders gefährlich ¹²⁷⁾. Jedoch scheint eine solche Annahme nur bedingt richtig zu sein. Zum einen bremsst das Kinn die Bewegung ab, zum anderen treffen die vorderen Wirbelkörperkanten aufeinander und wirken so bewegungshemmend, bis es zu einer typischen "Tear Drop Fracture" kommt ¹²⁸⁾.

Schäden an den Nervenwurzeln und am Rückenmark treten bei der Anteflexion auf ¹²⁹⁾, scheinen jedoch bei der Retroflexion häufiger zu sein ¹³⁰⁾.

3.4 Rotation und Stauchung

Stauchungskräfte können bei der Ante- und Retroflexion auftreten. Jedoch würde eine reine Stauchung erfordern, daß die Kraft axial gerichtet genau über dem Drehpunkt am Kopf ansetzt. Selbst in diesem Fall würde aber

124) BRAAKMANN und VINKEN 1967;

125) BÖHLER 1960

126) DAVIS 1945; BAILEY 1963.

127) WICKSTROM et al. 1967

128) KULOWSKI 1960

129) JANZEN 1966

130) KUHLENDahl 1966

bei Berücksichtigung der normalen Halslordose eine Retroflexion der HWS resultieren ¹³¹⁾. Eine solche steile Gewalteinwirkung führt zu vermehrten Stauchungskräften im HWS-Bereich und bewirkt Kompressionsfrakturen der Wirbelkörper, gleich ob im Endeffekt eine Ante- oder Retroflexion resultiert. Je horizontaler die Gewalteinwirkung ist, um so eher ist mit dem Auftreten abscherender Kräfte zu rechnen. Groß ist in jedem Fall die Biegungsbeanspruchung der gesamten HWS ¹³²⁾.

Rotationen um die Längsachse sind immer dann als Begleitmoment zu erwarten, wenn eine überbeugende oder überstreckende Kraft nicht genau in der Ebene des Schwerpunktes, also der sagittalen Symmetrieebene, ansetzt. Eine direkte Gewalteinwirkung von der Seite ist relativ selten, weil hier der Schultergürtel eine natürliche Schutzfunktion ausübt.

131) BAILEY (1963) weist darauf hin, daß es zu einer Stauchung nur kommt, wenn die normale Halslordose durch eine leichte Vorbeugung der HWS aufgehoben wird.

132) LOB 1954

4. Material und Methoden

4.1 Das statistische Untersuchungsmaterial

Das Untersuchungsmaterial besteht aus 219 Fällen von HWS-Verletzungen. Da bei einem Patienten manchmal mehrere voneinander getrennte Verletzungen der HWS auftraten, ergibt sich eine Gesamtzahl von 289 Einzelverletzungen.

Die Krankenberichte und Sektionsprotokolle gelangten auf verschiedenen Wegen zur Auswertung:

Ein Teil der Patienten wurde während des Zeitraumes von 1959 bis Mitte 1969 im Oskar-Helene-Heim in Berlin stationär behandelt. Hierbei wurden auch die Krankengeschichten derjenigen Patienten ausgewertet, die zunächst wegen eines Schädel-Hirntraumas behandelt wurden. Damit sollten diejenigen "Mitverletzungen" der HWS erfaßt werden, die bei der Aufnahme noch nicht bekannt waren.

Ein anderer Teil stammt aus der orthopädischen Abteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses in Berlin. Der Auswahlmodus war der gleiche wie eben erwähnt. Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich von 1962 bis Mitte 1969. Alle Patienten befanden sich in stationärer Behandlung.

Darüberhinaus wurden für die Zeit vom August 1969 bis Februar 1970 eigens zu diesem Zweck erstellte Fragebogen (Abb. 1) in den Rettungsstellen der beiden oben genannten Kliniken ausgelegt, die beim Auftreten von HWS-Verletzungen durch den diensthabenden Arzt ausgefüllt werden sollten. Zwölf Fragebogen wurden auf diese Weise ausgefüllt zurückerhalten.

Abb. 1: Fragebogen zur Erfassung ambulant behandelter
Halswirbelsäulenverletzungen

BITTE AUSFÜLLEN BEI HWS-VERLETZUNGEN (SCHLEUDERTRAUMA)!

NAME	VORNAME	GEB.DATUM	UNF.TAG	STAT.AUFN.
				JA NEIN

UNFALLHERGANG:

BEFUND: (INSBESONDERE LOKALISATION DER VERLETZUNG MÖGL.GENAU
EVTL. VORSCHÄDIGUNG DER WIRBELSÄULE)

Druck-Klopfschmerz (punct.max.)

Motor- u. sens. Ausfälle

Äußere Verletzungen

Bewegungseinschränkung (aktiv u. passiv)

sonstige Verletzungen

RÖNTGEN-BEFUND: 2 E, 3 E, Schichtaufnahme?

DIAGNOSE:

BEI KFZ-UNFÄLLEN:

Fahrzeugtyp:

Sitzplatz:

Nackenstütze? ja nein

Sicherheitsgurt? ja nein

Schultergurt

Beckengurt

Schulter/Beckengurt

Sechs Fälle wurden durch eigene Beobachtung während einer Famulatur in der chirurgischen Abteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses in Berlin in die Untersuchung aufgenommen.

Die letzten beiden Maßnahmen stellen den Versuch dar, auch die große Gruppe derjenigen Patienten, die nach ambulanter Behandlung die Klinik wieder verlassen haben, statistisch zu erfassen.

Bei der Durchsicht der Sektionsprotokolle im Landesinstitut für gerichtliche und soziale Medizin in Berlin wurden für den Zeitraum von 1959 bis 1969 134 Fälle von HWS-Verletzungen gezählt. Während der sechswöchigen regelmäßigen Teilnahme an den Sektionsterminen in diesem Institut wurden bei fünf Unfalltoten Verletzungen der HWS festgestellt. Diese Halswirbelsäulen wurden entnommen und dem III. Anatomischen Institut zur speziellen Begutachtung überstellt.¹³³⁾

4.2 Klassifizierung der Ergebnisse

Von der Untersuchung blieben diejenigen Fälle ausgeschlossen, bei denen eine direkte Verletzung der HWS vorlag. Denn es kann nicht Gegenstand einer statistischen Untersuchung sein, ob im Extremfall dieser oder jener Wirbel von einem direkten Trauma betroffen wird¹³⁴⁾.

133) Auf diese Fälle wird extra in der Diskussion eingegangen. Ihre Beschreibung ist im Anhang zu finden.

134) Das relativ seltene Vorkommen einer direkten Gewalteinwirkung an der HWS wird von MÜLLER (1966) hervorgehoben.

4.2.1 Verletzungsmechanismen

Es wurden zunächst drei große Gruppen entsprechend den hauptsächlichlichen Verletzungsmechanismen (siehe oben) gebildet: I Schleudertraumen, II Retroflexionsverletzungen (Hyperextensionsverletzungen), III Anteflexionsverletzungen (Hyperflexionsverletzungen). In einer Gruppe IV wurden diejenigen Fälle zusammengefaßt, bei denen sich der genaue Verletzungsmechanismus nicht mehr aus dem Unfallgeschehen, den Angaben der Betroffenen oder der Art der entstandenen Verletzungen rekonstruieren ließ. Hierbei handelte es sich zumeist um "Kombinationsverletzungen", also um eine Kombination der verschiedenen Verletzungsmechanismen.

Eine geringe Zahl von Fällen, die mit einer Stauung der HWS einhergingen, wurde der Gruppe III (Anteflexionsverletzungen) zugeordnet, weil eine zephalo-kaudal gerichtete Krafteinwirkung bei freier Beweglichkeit des Kopfes in eine Vorwärtsbeugung der HWS übergeht (GÖGLER 1968).

Sicher war oftmals eine Rotation oder eine seitliche Beugung an dem Verletzungsgeschehen beteiligt, denn die sagittalen Bewegungen stellen nur den "Idealfall" bei einer unendlichen Zahl denkbarer Bewegungen dar. Doch diese Momente werden sich nur im Experiment unter kontrollierten Bedingungen berücksichtigen lassen.

4.2.2 Verletzungsarten

Die bei den einzelnen Fällen diagnostizierten Verletzungen wurden in drei Gruppen eingeteilt:

A) Weichteilverletzungen (Bänderzerreißen, Muskelverletzungen, Bandscheibenverletzungen und Subluxationen ¹³⁵⁾);

B) Knochenverletzungen ohne gröbere Dislokationen.
Hierzu gehören: Abrißfrakturen von Wirbelkörperkanten oder spondylotischen Osteophyten, Dornfortsatzabrisse, einfache Bogenbrüche, Atlas- und Densfrakturen ohne Dislokation.

C) Luxationen, Luxationsfrakturen und Trümmerfrakturen der Wirbelkörper.

Diese Einteilung wurde gewählt, damit eine einzelne Verletzung nicht mehreren Gruppen gleichzeitig zugeordnet zu werden braucht. Selbstverständlich kommen für alle Fälle der Gruppe C sowie einige der Gruppe B auch Weichteilverletzungen in Frage, wie sie bei A zusammengefaßt wurden. Entscheidend für die Verteilung war das Vorhandensein einer "übergeordneten" Verletzung.

Auf das Einführen einer Gruppe "Rückenmarks- und Nervenverletzungen" wurde deshalb verzichtet, weil diese Läsionen in allen drei Gruppen als Sekundärverletzung auftreten können, lediglich die "zentrale Halsmarkläsion" aufgrund des "Kneifzangenmechanismus" ist ohne Weichteil- oder Knochenverletzung denkbar (siehe oben). Diese Verletzung wurde jedoch bei 219 Fällen nicht beobachtet.

Ebenso ist auch eine Nervenwurzelverletzung bei verengtem Foramen intervertebrale auf Grund einer forcier-

¹³⁵⁾ Nach EMMINGER (1966) liegt eine Subluxation nur bei einer tatsächlichen Verschiebung von Gelenkanteilen und Einriß der Gelenkkapsel vor. Sonst handelt es sich um eine "Distorsion". Siehe auch JUNGHANNS 1966.

ten Extrembewegung möglich, ohne daß hinterher Läsionen der Knochen und Bänder nachweisbar sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und um das Kollektiv nicht zu sehr zu zersplittern, wurde jedoch auf eine weitere Aufschlüsselung der einzelnen Verletzungsarten verzichtet ¹³⁶⁾).

4.2.3 Schweregrade der Verletzung

Jeder Fall wurde entsprechend der Schwere der erlittenen Verletzungen klassifiziert. Dabei wurde die ACIR-Verletzungsskala (Automobile Crash Injury Research) in ihrer verkürzten und modifizierten Form zu Grunde gelegt ¹³⁷⁾. Verletzungen außerhalb des HWS-Bereiches wurden fortgelassen.

Schweregrad 1 "leicht verletzt"

Klinisch: Diffuser Schmerz in der HWS bei fehlender oder geringgradiger Bewegungseinschränkung ¹³⁸⁾.

Röntgenologisch und neurologisch o.B.

Leichte Distorsion der HWS ohne morphologische nachweisbare Veränderungen.

Schweregrad 2 "nicht gefährlich verletzt"

Klinisch: Starke Bewegungseinschränkung mit Schmerzen ¹³⁹⁾.

Röntgenologisch: Reaktive Steilstellung, kyphotische Knickbildung, verminderte Beweglichkeit in einzelnen

136) Siehe dazu LOB 1954, BÖHLER 1960, HOLDSWORTH 1963, AKIYAMA 1965, JUNGHANS 1966.

137) BRAUNSTEIN 1957; GÖGLER 1962 und 1968.

138) BUES 1962 und 1968

139) Ebenda

Abschnitten.

Neurologisch: Ohne Befund.

Morphologisch: Gelenkkapsel- Bändereinrisse ohne Gefügetrennung (Subluxation) ¹⁴⁰⁾, Muskelzerrungen mit Rupturen, Dornfortsatzfrakturen. Keine abnorme Beweglichkeit im Bewegungssegment!

Schweregrad 3 "gefährlich verletzt"

Klinisch: Zwangshaltung der HWS ¹⁴¹⁾.

Röntgenologisch: Außer Frakturzeichen noch Stufenbildungen, starke Knickbildungen, Verengung von Intervertebralspalten, abnorme Beweglichkeit in einzelnen Bewegungssegmenten ¹⁴²⁾.

Neurologisch: Wurzel- oder Rückenmarkssymptome.

Morphologisch: Isolierte Bandscheibenrisse (Prolapsgefahr), Längsbandrisse (evtl. mit Kantenabspaltungen), Rupturen im "dorsalen Bandapparat" ¹⁴³⁾, Wirbelkörperfrakturen, Kompressionsfrakturen, Bogenbrüche, Luxationen und Luxationsfrakturen, jede Fraktur im Bereich der Kopfgelenke. Rückenmarksverletzungen. Allgemein:
Jede abnorme Beweglichkeit in einem Bewegungssegment ¹⁴⁴⁾.

140) EMMINGER 1966

141) BUES 1962 und 1968

142) Die Wichtigkeit von Röntgenfunktionsaufnahmen zur Entdeckung solcher Weichteilverletzungen wird von BUONOCORE et al. (1966) betont. Die Untersuchung muß jedoch mit größter Vorsicht durchgeführt werden.

143) Dazu gehören die Ligg. interspinalia et flava sowie die Kapseln der kleinen Wirbelgelenke, HOLDSWORTH 1963.

144) Entsprechend den "unstable injuries", wie sie von HOLDSWORTH (1963) beschrieben wurden.

Schweregrad 4 "tödlich verletzt".

Darüberhinaus sind bei jedem Fall noch folgende Informationen gesammelt worden: Ob es sich bei Verkehrsunfällen um Autofahrer, Fußgänger oder Zweiradfahrer handelte; welchen Sitzplatz die in Kraftfahrzeugen Verunglückten eingenommen hatten; ob eine Vorschädigung der HWS bestand.

Schon an dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, daß es schwierig ist, ein Material, welches aus den verschiedensten Quellen stammt, einer Klassifizierung zu unterziehen. Klinisch, röntgenologisch und neurologisch gelten jeweils andere Kriterien als pathologisch anatomisch. Außerdem war die Qualität der vorgefundenen Informationen bei den einzelnen Krankengeschichten und Sektionsprotokollen sehr unterschiedlich. Dies ist der Grund für die relativ grobe Einteilung der Verletzungsklassen, die manchem zu wenig spezifiziert erscheinen mag, dafür aber weitgehend die Gefahr einer willkürlichen Verteilung von Fällen auf eine Vielzahl von Klassen vermeidet.

4.2.4 Zuordnung der Verletzungen zu den einzelnen Segmenten im HWS-Bereich

Die HWS wurde in neun Glieder eingeteilt (0 - 8).

Glied 0 entspricht dem oberen Kopfgelenk (Articulatio-atlanto-okzipitalis). Jedoch wurde eine Verletzung des Atlas dem nächsten Glied 1 zugeordnet, weil in vielen Fällen nicht ersichtlich war, ob eine Verletzung des Atlas in dem Bereich lokalisiert war, der dem Okziput zugewandt ist, oder in dem mit dem Axis artikulierenden Bereich.

Die Einteilung in die "Junghansschen Bewegungssegmente" konnte zur Auswertung nicht benutzt werden, da in diesem Fall zu jedem Bewegungssegment der kaudale und der kraniale Teil der benachbarten Wirbel gehören.

Bei der hier vorgenommenen Unterteilung entspricht also die Nummer der Glieder 1 bis 7 dem ersten bis siebenten Halswirbel. Das 8. Glied schließt den ersten Brustwirbel ein.

Zu jedem Glied gehören außerdem die kaudal von dem betreffenden Wirbel liegende Zwischenwirbelscheibe und die entsprechenden Bänder.

4.2.5 Einteilung in drei HWS-Abschnitte

Aus funktionell-anatomischen Gründen und der besseren Übersicht wegen wurde die HWS in drei Abschnitte eingeteilt (siehe oben).

Abschnitt a mit den Gliedern 0 bis 2 entspricht der oberen HWS.

Abschnitt b entspricht der mittleren HWS und wird vom 3. und 4. Glied gebildet.

Abschnitt c (untere HWS) reicht vom 5. bis 8. Glied.

In einer letzten Gruppe d wurden diejenigen Fälle zusammengefaßt, die "diffuse Beschwerden" im g e s a m t e n HWS-Bereich aufwiesen.

5. Eigene Untersuchungsergebnisse

5.1 Schleuderverletzungen

Bei 29 von 219 Fällen handelte es sich um Schleuderverletzungen. Das entspricht 13,2 % des Gesamtmaterials.

Die Übertragung der wirksamen Kräfte erfolgte bei diesen Traumen indirekt in der Art einer offenen kinetischen Kette (KULOWSKI 1960), d.h. es kam zu keiner direkten Gewalteinwirkung am Kopf. 16 der Patienten waren männlichen, 13 weiblichen Geschlechts.

Bis auf einen Fall waren es ausschließlich Verletzungen, die bei Autoinsassen auftraten. Bei dem einzigen anders gearteten Fall handelte es sich um ein zweijähriges Kind, das beim Spielen mit dem Vater so unglücklich hin- und hergeschüttelt wurde, daß es zu einem echten Hin- und Herschlagen des Kopfes kam.

Die verbleibenden 28 Autounfälle waren zum überwiegenden Teil (24) Auffahrunfälle von hinten. Einmal fuhren sogar mehrere Fahrzeuge hintereinander auf den Wagen der Patientin auf.

Bei zwei der vier anderen Autounfälle saßen die Verletzten in dem auffahrenden Wagen, schlugen jedoch mit dem Kopf nirgendwo an. Der Kopf flog bei fixiertem Rumpf zunächst nach vorne, um anschließend wieder nach hinten zu schlagen (umgekehrtes Schleudertrauma).

Einmal lag ein seitlicher Anprall vor (von links), wobei es zu einer Luxation des sechsten Halswirbelkörpers gegenüber dem siebenten kam, mit einer Fraktur im rechten Bogenanteil von C₇.

Bei dem einzigen tödlich Verunglückten in dieser Verletzungsgruppe handelt es sich um einen Autobahnunfall. Der Betroffene war mit seinem Wagen gegen die Leitplanke und anschließend gegen mehrere Bäume geschleudert, ohne sich zu überschlagen. Er trug einen Sicherheitsgurt. Die Verletzungen bestanden in einer Luxationsfraktur im Atlanto-okzipital-Gelenk sowie einem Riß der Dura mater mit subduraler Blutung und führten zum Tode noch am Unfallort. Dieser Fall wurde trotz des zunächst untypischen Unfallherganges (kein anderes Fahrzeug war beteiligt) zu den Schleuderverletzungen gezählt, weil es bei dem angeschnallten Fahrer mit relativ unbeweglichem Oberkörper im Verlauf der verschiedenen Anpralle seines Wagens zu einer Reihe von unkontrollierten Bewegungen des Kopfes und der HWS in den verschiedensten Richtungen gekommen war, ohne daß der Kopf anschlug.

Die Altersverteilung der 29 Fälle ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Es fällt auf, daß 22 Patienten (76 %) jünger als 50 Jahre waren.

Die Frage der Massenverhältnisse zwischen den kollidierenden Fahrzeugen konnte nicht befriedigend geklärt werden, da die Fahrzeugtypen nicht in allen Fällen bekannt waren. Bei sieben von 24 Auffahrunfällen von hinten war das vorausfahrende Fahrzeug, in dem die verletzten Personen saßen, wesentlich leichter als das auffahrende.

24-mal konnte nachträglich der Sitzplatz festgestellt werden. Der Fahrersitz wurde mit 15 Verletzten (58 %) am häufigsten betroffen, es folgt der Beifahrersitz

mit sieben Fällen (29 %). Einer der Rücksitze wurde zweimal von je einem Verletzten eingenommen.

Art und segmentale Verteilung der Verletzungen

Bei 18 Patienten (62 %) wurden Verletzungen der Gruppe A (Weichteilverletzungen) gefunden.

Fünfmal (17 %) lagen Verletzungen der Gruppe B (Frakturen ohne gröbere Dislokation) vor.

Sechs Verunglückte (21 %) erlitten Verletzungen vom Typ C (Luxationen und Luxationsfrakturen).

Neurologische Befunde wiesen insgesamt 13 Patienten (45 %) auf. Achtmal (28 %) wurden Kompressionsbeschwerden angegeben, neunmal beruhten die Beschwerden auf einer radikulären Irritation (da bei vier Patienten beide Verletzungen gleichzeitig auftraten, beträgt die Summe dieser Fälle 17).

Bei einem Todesfall bestand eine Rückenmarksbeteiligung in Form einer Spinalblutung bei Durariß.

Hinsichtlich der Schwere der erlittenen Verletzungen ergibt sich folgendes Bild: Sechs Verletzungen (21 %) waren als "leicht" zu bezeichnen. 16 Patienten (55 %) hatten "nicht gefährliche" Verletzungen erlitten. Sechs Patienten (21 %) waren "gefährlich" verletzt. Ein Verunglückter erlitt tödliche Verletzungen.

Bei 23 Personen wurden insgesamt 33 Halswirbelsäulenglieder verletzt (1,4 pro Patient). Die übrigen hatten diffuse Beschwerden in der gesamten HWS angegeben. In 14 Fällen wurde nur ein Wirbelsäulenglied betroffen, in neun Fällen waren es mehrere (achtmal zwei Glieder, einmal drei).

Bei der Zusammenfassung in drei HWS-Abschnitte wurde die obere HWS sechsmal (21 %), die mittlere HWS fünfmal (17 %) und die untere HWS zwölfmal (41 %) verletzt. Die fehlenden 21 Prozent werden durch die sechs Patienten mit den diffusen Beschwerden ausgemacht. Sehr viele der leichten Verletzungen wurden in dieser letzten Gruppe gefunden, und zwar wiesen fünf der sechs Patienten Verletzungen dieses Schweregrades auf.

Fünf Patienten hatten eine degenerative Vorschädigung der HWS. Dreimal war dabei die untere, zweimal die gesamte HWS befallen.

Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu

5.1 "Schleuderverletzungen".

Tabelle 2: Altersverteilung von 29 Schleuderverletzungen
(16 ♂ , 13 ♀)

Dezennium	Zahl der Fälle	Prozent
1. (0- 9)	1	3
2. (10-19)	2	7
3. (20-29)	8	28
4. (30-39)	2	7
5. (40-49)	9	31
6. (50-59)	3	10
7. (60-69)	4	14
Summe	29	100

Tabelle 3: Segmentale Verteilung von 33 Halswirbelsäulenverletzungen bei 23 Verunglückten mit Schleudertraumen (sechsmal wurden diffuse Beschwerden angegeben).

Segment	Zahl der Verletzungen		Summe
	eine Segm.verl.	mehrere Segm.verl.	
0	1	0	1
1	0	1	1 (21 %)
2	4	1	5
3	1	2	3
4	2	2	4 (21 %)
5	4	3	7
6	1	6	7
7	1	4	5 (58 %)
8	0	0	0
Summe	14	19	33

Tabelle 4: Verteilung der Weichteilverletzungen (A),
Frakturen ohne Dislokation (B) und Luxationen -
Luxationsfrakturen (C) auf die obere, mittlere
und untere HWS (29 Fälle von Schleuderverlet-
zungen ⁺)

Abschnitt		Art der Verletzung			Summe
		A	B	C	
obere	HWS	4	1	1	6(21 %)
mittlere	"	3	0	2	5(17 %)
untere	"	5	4	3	12(41 %)
gesamte	" ⁺⁺	6	0	0	6(21 %)
Summe		18(62%)	5(17%)	6(21%)	29(100 %)

Tabelle 5: Schwere der Verletzungen in den drei HWS-Ab-
schnitten (29 Fälle von Schleuderverletzungen ⁺)

Abschnitt		Schweregrad				Summe
		1	2	3	4	
obere	HWS	0	4	1	1	6(21 %)
mittlere	"	1	2	2	0	5(17 %)
untere	"	0	9	3	0	12(41 %)
gesamte	" ⁺⁺	5	1	0	0	6(21 %)
Summe		6	16	6	1	29(100 %)

⁺ Wurden bei einem Patienten mehrere Segmente in einem
Abschnitt verletzt, so wurden diese Verletzungen als
eine gewertet, deshalb ergibt sich ein Unterschied zu
Tabelle 3 (siehe Text).

⁺⁺ diffuse Beschwerden im gesamten HWS-Bereich

5.2 Retroflexions- Hyperextensionsverletzungen

52 der 219 Verunglückten (22,7 %) hatten sich ihre Verletzungen durch eine gewaltsame, extreme Rückbeugung der HWS zugezogen. Ein Großteil von ihnen (11 bzw. 12) stand im siebenten oder achten Dezennium (siehe Tabelle 6). 35 (67 %) waren männlichen, 17 (33 %) waren weiblichen Geschlechts.

41 (79 %) erlagen ihren Verletzungen, jedoch war nur bei 23 (44 %) der erlittene Schaden an der HWS als Todesursache anzusehen. In einigen Fällen lag eine tödliche HWS-Verletzung zusammen mit tödlichen Verletzungen anderer Organe vor.

32 (62 %) von 52 Patienten waren Opfer eines Verkehrsunfalls, und zwar wurden 21-mal (66 % der VU.) Fußgänger und achtmal (25 %) Autoinsassen betroffen. Dreimal waren die Patienten auf andere Weise in einen Verkehrsunfall verwickelt. Von den acht Pkw-Insassen saßen vier auf dem Fahrersitz und vier auf dem Beifahrersitz.

Bei den übrigen 20 Personen lagen folgende Unfallursachen vor: Sechsmal Sturz auf ebener Erde, viermal Kopfsprung in flaches Wasser, dreimal Sturz aus der Höhe, sowie siebenmal sonstige Ursachen.

In 29 Fällen (56 %) lag neben der HWS-Verletzung ein Schädel-Hirn-Trauma leichterer oder schwererer Art vor. Drei der 11 Überlebenden klagten über radikuläre Beschwerden. Bei 18 von 52 Patienten (35 %) war das Rückenmark verletzt worden. Jedoch kann diese Zahl etwas höher liegen, da bei den Sektionen das Rückenmark nicht immer untersucht wurde.

In fünf Fällen (10 %) ist eine Vorschädigung der HWS bekannt geworden. Auch diese Zahl ist ganz bestimmt als zu niedrig anzusehen, denn 56 % der Patienten waren älter als 60 Jahre.

Art und segmentale Verteilung der Verletzungen

Bei 52 Fällen traten insgesamt 75 Verletzungen von verschiedenen HWS-Gliedern auf (1,4 pro Patient). 32-mal (62 %) wurde bei einem Patienten nur ein Wirbelsäulenglied verletzt. Die restlichen 20 Personen hatten insgesamt 43 Einzelverletzungen (57 % von 75).

Verletzungen der Gruppe A (Weichteilverletzungen) traten 13-mal (22 %) in einem der drei HWS-Bereiche auf. Die Gruppe B (Frakturen ohne gröbere Dislokation) entspricht mit 12 Fällen (21 %) ungefähr dieser Häufigkeit. Die Gruppe C (Luxationen und Luxationsfrakturen) ist mit 33 Verletzungen (57 %) am stärksten. Die Gesamtzahl von 58 rührt daher, daß bei sechs Patienten zwei der drei Bereiche gleichzeitig betroffen wurden.

Zur Schwere der Verletzungen ergibt sich folgendes Bild (siehe Tab. 9): Nur einmal war eine Verletzung als "leicht" zu bezeichnen. 12-mal (21 %) kamen "nicht gefährliche" Verletzungen zustande, 20-mal wurden die Patienten "gefährlich" verletzt (34 %). Die tödlichen Traumen waren mit 25 Fällen (43 %) am häufigsten.

Insgesamt lagen 19 (26 %) von allen 75 Verletzungen im Bereich der oberen HWS, neunmal (12 %) wurde der mittlere Bereich verletzt, 47-mal (62 %) der untere Bereich.

Zählt man jeweils nur die verletzten Bereiche, un-

abhängig davon, wieviele Einzelsegmente darin betroffen waren, so ändert sich die prozentuale Verteilung nur unwesentlich (siehe Tab. 8 und 9).

Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu 5.2 "Retroflexionsverletzungen".

Tabelle 6: Altersverteilung von 52 Retroflexionsverletzungen (35 = 67 % ♂ , 17 = 33 % ♀)

Dezennium	Zahl der Fälle	Prozent
1. (0- 9)	0	0
2. (10-19)	1	2
3. (20-29)	8	15
4. (30-39)	7	13
5. (40-49)	3	6
6. (50-59)	4	8
7. (60-69)	11	21
8. (70-79)	12	23
9. (80-89)	5	10
10. (90-99)	1	2
Summe	52	100

Tabelle 7: Segmentale Verteilung von 75 Verletzungen
bei 52 Fällen von Retroflexionsverletzungen

Segment	Zahl der Verletzungen		Summe
	eine Segm.verl.	mehrere Segm.verl.	
0	0	0	0
1	0	8	8 (11 %)
2	3	8	11 (15 %)
3	2	1	3 (4 %)
4	2	4	6 (8 %)
5	4	6	10 (13 %)
6	12	10	22 (29 %)
7	9	4	13 (17 %)
8	0	2	2 (3 %)
Summe	32 (43 %)	43 (57 %)	75 (100 %)

Tabelle 8: Verteilung der drei Arten von Verletzungen
(A - C) ⁺ auf die drei HWS-Abschnitte
(Retroflexionstraumen).

Abschnitt		Art der Verletzung			Summe
		A	B	C	
obere	HWS	4	1	7	12 (21 %)
mittlere	"	4	1	4	9 (15 %)
untere	"	5	10	22	37 (64 %)
Summe		13(22%)	12(21%)	33(57%)	58 (100 %)

Tabelle 9: Schwere der Verletzungen in den drei
HWS-Abschnitten (Retroflexionstraumen).

Abschnitt		Schweregrad ⁺⁺				Summe
		1	2	3	4	
obere	HWS	1	3	1	7	12(21%)
mittlere	"	0	4	3	2	9(15%)
untere	"	0	5	16	16	37(64%)
Summe		1(2%)	12(21%)	20(34%)	25(43%)	58(100%)

⁺ A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne gröbere
Dislokation, C = Luxationen und Luxationsfrakturen

⁺⁺ 1 = leicht verletzt, 2 = nicht gefährlich verletzt,
3 = gefährlich verletzt, 4 = tödlich verletzt

5.3 Anteflexions- Hyperflexionsverletzungen

In dieser Gruppe wurden 59 von 219 Fällen erfaßt (25,8 %). Bei den 59 Verunglückten handelt es sich um 38 männliche (64 %) und 21 weibliche (36 %) Personen, deren Altersverteilung aus Tabelle 10 ersichtlich ist. Auffällig ist, daß 72 % der Fälle jünger als 50 Jahre waren. Am stärksten vertreten waren das zweite und dritte Dezennium mit jeweils 14 Fällen (je 24 %).

14 Verunglückte (24 %) starben an den bei dem Unfall erlittenen Verletzungen. Dabei ist zu beachten, daß bei zwei Fällen der Tod durch schwere Verletzungen anderer Organe herbeigeführt wurde.

Als Unfallursachen wurden folgende Gründe angegeben: 17-mal lag ein Verkehrsunfall vor (28 %). Davon waren acht Autounfälle, wobei viermal der Fahrer und einmal der Beifahrer verletzt wurde. In drei Fällen ließ sich der Sitzplatz nachträglich nicht mehr feststellen. Drei Patienten erlitten ihre Verletzungen als Fahrer eines Zweiradfahrzeuges, fünf waren Fußgänger und einmal fehlte die Beschreibung des Verkehrsunfalles. Bei den 42 auf andere Weise zu Schaden Gekommenen steht als Hauptursache mit 28 Fällen ein Sturz auf ebener Erde im Vordergrund. Es folgen sieben Fälle, wo ein Sturz aus der Höhe als Unfall angegeben wurde. Bei drei Unfällen fiel den Betroffenen ein Gewicht auf den Kopf. Viermal wurden die Patienten auf andere Weise verletzt 145).

145) Daß eine Anteflexion stattgefunden hatte, wurde entweder aus dem Unfallhergang, aus der Art der entstandenen Verletzung oder aus der Lokalisation der vorhandenen Kopfverletzung geschlossen.

Elf Personen erlitten ein Schädel-Hirn-Trauma.

Eine unfallunabhängige Vorschädigung der HWS wurde in sechs von 59 Fällen (10 %) angegeben ¹⁴⁶⁾.

Art und segmentale Verteilung der Verletzungen

Bei sieben von 45 überlebenden Patienten (16 %) wurden Verletzungen der Nervenwurzeln diagnostiziert. In 19 von 59 Fällen (32 %) war das Rückenmark verletzt. Sieben Patienten überlebten dieses Trauma, vier davon mit einer kompletten Querschnittslähmung.

Bei 59 Fällen von Anteflexionsverletzungen wurden insgesamt 75 einzelne HWS-Glieder verletzt. 34-mal wurde lediglich ein einzelnes Segment betroffen, während bei den restlichen 23 Fällen insgesamt 35 Segmente verletzt wurden. Jeder Patient wies also im Durchschnitt 1,3 verletzte Wirbel auf. Zwei Verunglückte gaben diffuse Beschwerden im Bereich der ganzen HWS an, ohne daß sich ein Punktum maximum feststellen ließ.

Verletzungen der Gruppe A (Weichteilverletzungen) wurden in 15 von 59 Fällen (25,4 %) festgestellt. Neunmal (15,3 %) traten Verletzungen der Gruppe B (Frakturen ohne gröbere Dislokation) auf. Die Luxationen und Luxationsfrakturen (Gruppe C) machten mit 35 Fällen (59,3 %) den Hauptteil aus (siehe Tab. 12).

Bei drei Patienten wurden die erlittenen Schäden als "leicht" eingestuft (5,1 %). 17-mal (28,8 %) lagen "nicht gefährliche" Verletzungen vor. In 27 Fällen waren

¹⁴⁶⁾ 28 % der Verunglückten waren älter als 50 Jahre.

die Verletzungen "gefährlich" (45,7 %) und 12-mal tödlich (20,4 %). Es wurden wiederum nur die verletzten Abschnitte bewertet (siehe Tab. 13).

Von den einzelnen Gliedern der HWS wurde das sechste (C_6 und darunterliegende Bandscheibe) am häufigsten verletzt, nämlich 26-mal (34,7 %) bei insgesamt 75. Verletzungen. In der Häufigkeit folgt das 7. Glied mit 13 Verletzungen (17,3 %) und das 5. Glied, das zehnmal betroffen wurde (13,3 %) (siehe Tab. 11).

Für die einzelnen HWS-Abschnitte ergibt sich bei der Berücksichtigung eines jeden verletzten HWS-Gliedes folgende prozentuale Verteilung:

Die obere HWS wurde elfmal verletzt (14,7 %), die mittlere HWS 15-mal (20 %) und die untere HWS 49-mal (65,3 %). An dieser Verteilung ändert sich kaum etwas, wenn man wieder mehrere Einzelverletzungen in demselben Abschnitt zu einer Verletzung zusammenfaßt (siehe Tab. 12 und 13).

Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu
5.3 "Anteflexionsverletzungen".

Tabelle 10: Altersverteilung von 59 Anteflexionsverletzungen (38 = 64 %♂ , 21 = 36 %♀)

Dezennium	Zahl der Fälle	Prozent
1. (0- 9)	3	5
2. (10-19)	14	24
3. (20-29)	14	24
4. (30-39)	8	14
5. (40-49)	3	5
6. (50-59)	7	12
7. (60-69)	6	10
8. (70-79)	1	1
9. (80-89)	3	5
Summe	59	100

Tabelle 11: Segmentale Verteilung von 75 Verletzungen
bei 59 Fällen von Anteflexionsverletzungen

Segment	Zahl der Verletzungen		Summe
	eine Segm.verl.	mehrere Segm.verl.	
0	0	0	0
1	0	2	2 (27 %)
2	7	2	9 (12 %)
3	5	3	8 (10,7 %)
4	5	2	7 (9,3 %)
5	4	6	10 (13,3 %)
6	14	12	26 (34,7 %)
7	5	8	13 (17,3 %)
8	0	0	
Summe	40	35	75 (100 %)

Tabelle 12: Verteilung der drei Verletzungsarten
(A - C) ⁺ auf die drei HWS-Abschnitte
(Anteflexionsverletzungen).

		Art der Verletzung			Summe
		A	B	C	
obere	HWS	6	2	0	8 (13,5 %)
mittlere	"	4	8	0	12 (21 %)
untere	"	3	25	9	37 (62,1 %)
gesamte	"	2	0	0	2 (3,4 %)
Summe		15(25,4%)	35(59,3%)	9(15,3%)	59 (100 %)

Tabelle 13: Schwere der Verletzungen in den drei
HWS-Abschnitten (Anteflexionsverletzungen).

		Schweregrad ⁺⁺				Summe
		1	2	3	4	
obere	HWS	0	6	2	0	8(13,5%)
mittlere	"	0	4	4	4	12(21,0%)
untere	"	1	7	21	8	37(62,1%)
gesamte	"	2	0	0	0	2(3,4%)
Summe		3(5,1%)	17(28,8%)	27(45,7%)	12(20,4%)	59(100 %)

⁺ A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne gröbere Dislokation, C = Luxationen und Luxationsfrakturen

⁺⁺ 1 = leicht verletzt, 2 = nicht gefährlich verletzt,
3 = gefährlich verletzt, 4 = tödlich verletzt

5.4 Kombinationsverletzungen und Fälle mit ungeklärtem Verletzungsmechanismus

Die große Zahl von 79 Fällen in dieser Gruppe erstaunt nicht mehr, wenn man bedenkt, wie komplex ein Verletzungsgeschehen z.B. bei einem Überschlagen im Kraftfahrzeug oder bei einer Anprallverletzung eines Fußgängers sein kann. Gewiß spielt sich in solchen Fällen eine Folge der verschiedensten Extrembewegungen der HWS ab. So sind auch besonders schwere Unfälle, die hier zusammengefaßt wurden. Das zeigt sich besonders an der großen Mortalitätsziffer. 69 von 79 Verunglückten (81 %) verloren ihr Leben. 50 hiervon (63 %) erlitten tödliche HWS-Verletzungen. In 48 Fällen hatten die Patienten als Begleitverletzung ein Schädel-Hirn-Trauma erlitten (61 %).

Bei der Geschlechterverteilung fällt ein starkes Überwiegen der Männer auf. 50 Verletzte (63 %) waren männlichen, 29 (37 %) weiblichen Geschlechts.

In der Altersverteilung waren das 3., 6. und das 8. Dezennium besonders stark repräsentiert. Diese Altersgruppen machen zusammen 63 % der Fälle aus (siehe Tab. 14).

58 Personen (73 %) waren in einen Verkehrsunfall verwickelt. Meist handelte es sich hierbei um Fußgänger (39 Fälle = 49 %). 11 Verunglückte fielen einem Autounfall zum Opfer (14 % - sieben Beifahrer, zwei Fahrer) und sieben waren Fahrer eines Zweirades (9 %). Einmal wurde die Art des Verkehrsunfalles nicht näher erläutert.

Bei den übrigen 21 Unfällen wurde eine Vielzahl von Ursachen angegeben: Sturz aus der Höhe fünfmal, Sprung in

flaches Wasser zweimal. Die übrigen Ursachen traten nur einmal auf und sollen deshalb nicht besonders aufgeführt werden.

Eine degenerative Vorschädigung wurde nur insgesamt viermal (5 % !) angegeben. Diese Zahl ist angesichts der Tatsache, daß 60 % der Patienten das fünfte Dezennium überschritten hatten, mit Sicherheit als zu niedrig anzusehen.

Art und segmentale Verteilung der Verletzungen

Nur dreimal wurden Verletzungen der Nervenwurzeln diagnostiziert. Bei nur 15 Überlebenden bedeutet das jedoch, daß sich jeder fünfte Patient dieser Gruppe eine solche Läsion zuzog. Das Rückenmark wurde in 52 % der Fälle verletzt (45-mal).

Bei 79 Patienten wurden insgesamt 106 verschiedene HWS-Glieder verletzt (1,3 pro Patient). Einmal wurde als einziger Befund bei der Sektion ein diffuses retropharyngeales Hämatom gefunden, das nicht weiter lokalisiert werden konnte. 54-mal wurde nur ein HWS-Glied verletzt, bei den 24 Geschädigten mit Mehrfachverletzungen wurden insgesamt 52 Einzelglieder betroffen.

Am häufigsten wurden das zweite und das sechste Glied mit jeweils 20 Fällen verletzt (je 18,8 %). Das siebente Glied liegt mit 15 Fällen an der dritten Stelle (14,2 %), gefolgt vom fünften mit 13 Verletzungen (12,3 %) (siehe Tab. 15).

Insgesamt wurde die untere HWS wieder am häufigsten verletzt, nämlich 49-mal (46,3 %). Verletzungen der oberen

HWS wurden 37-mal gezählt (34,9 %), solche der mittleren HWS nur 20-mal (18,8 %).

Bei der einmaligen Zählung von Mehrfachverletzungen in einem HWS-Abschnitt ändert sich die prozentuale Verteilung am stärksten im Bereich der oberen HWS, und zwar von 34,9 % auf 29,4 %. Dort stehen nur fünf Einzelverletzungen zwölf Mehrfachverletzungen gegenüber. Die Verletzungshäufigkeit der mittleren und oberen HWS ändert sich nur unwesentlich (siehe Tab. 16 und 17).

Zehn Patienten erlitten Weichteilverletzungen der Gruppe A (11,8 %). 25-mal (29,4 %) lagen Frakturen ohne gröbere Dislokation vor (Gruppe B). 50 (58,8 %) wiesen Luxationen oder Luxationsfrakturen (Gruppe C) auf (siehe Tab. 16).

Wie oben schon erwähnt, handelt es sich in dieser Gruppe zumeist um sehr schwere Unfälle. So war nur eine Verletzung (1,2 %) als "leicht" zu bezeichnen. Neun Fälle waren "nicht gefährlich" (10,6 %), 24 (28,2 %) "gefährlich" und 51 (60 %) waren tödlich (siehe Tab. 17).

Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu

5.4 "Kombinationstraumen und ungeklärte Verletzungsmechanismen".

Tabelle 14: Altersverteilung von 79 Verletzten

(50 = 63 % ♂ , 29 = 37 % ♀)

Dezennium	Zahl der Fälle	Prozent
1. (0- 9)	3	3,8
2. (10-19)	5	6,4
3. (20-29)	17	21,5
4. (30-39)	2	2,5
5. (40-49)	4	5,1
6. (50-59)	17	21,5
7. (60-69)	10	12,6
8. (70-79)	16	20,2
9. (80-89)	5	6,4
Summe	79	100

Tabelle 15: Segmentale Verteilung von 106 Verletzungen
bei 79 Fällen von Kombinationstraumen

Segment	Zahl der Verletzungen		Summe
	eine Segm.verl.	mehrere Segm.verl.	
0	2	4	6 (5,8 %)
1	3	8	11 (10,4 %)
2	10	10	20 (18,8 %)
3	7	3	10 (9,4 %)
4	5	5	10 (9,4 %)
5	9	4	13 (12,3 %)
6	12	8	20 (18,8 %)
7	6	9	15 (14,2 %)
8	0	1	1 (0,9 %)
Summe	54 (51 %)	52 (49 %)	106 (100 %)

Tabelle 16: Verteilung der drei Arten von Verletzungen
(A - C) ⁺ auf die drei HWS-Abschnitte
(Kombinationstraumen).

Abschnitt		Art der Verletzung			Summe
		A	B	C	
obere	HWS	2	5	18	25 (29 %)
mittlere	"	2	8	8	18 (21 %)
untere	"	5	12	24	41 (48 %)
gesamte	"	1	0	0	1 (1 %)
Summe		10(12%)	25(29%)	50(59%)	85 (100 %)

Tabelle 17: Schwere der Verletzungen in den drei
HWS-Abschnitten (Kombinationstraumen).

Abschnitt		Schweregrad ⁺⁺				Summe
		1	2	3	4	
obere	HWS	0	2	7	16	25 (29%)
mittlere	"	1	2	8	7	18 (21%)
untere	"	0	4	9	28	41 (48%)
gesamte	"	0	1	0	0	1 (1%)
Summe		1(1%)	9(11%)	24(28%)	51(60%)	85 (100%)

⁺ A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne größere Dislokation, C = Luxationen und Luxationsfrakturen

⁺⁺ 1 = leicht verletzt, 2 = nicht gefährlich verletzt,
3 = gefährlich verletzt, 4 = tödlich verletzt

5.5 Zusammenfassender Vergleich aller vier Verletzungsgruppen

Abschließend sollen die Prozentzahlen bei der gemeinschaftlichen Auszählung aller vorhandenen Fälle mit denen der Gruppe I - IV verglichen werden.

Den geringsten Anteil an den 219 Fällen hat die Gruppe I (Schleudertrauma) mit 13,2 % (29 Fälle). Etwas niedriger ist der prozentuale Anteil dieser Gruppe an der Gesamtzahl der Verletzungen (289), nämlich 11,4 % (33 Verletzungen). Dies wird erklärt durch die etwas niedriger als in den anderen Gruppen liegende Zahl von 1,1 Verletzungen pro Patient. Die Gruppe II (Hyperextensionsverletzungen) enthält 23,5 % aller Krankengeschichten (52 Fälle). Der Anteil an den Verletzungen ist etwas höher: 25,5 %, das entspricht 75 Verletzungen, wobei die etwas erhöhte Zahl von 1,4 Verletzungen pro Patient zu berücksichtigen ist. Die 59 Fälle von Hyperflexionsverletzungen (Gruppe III) ergeben 27,3 % der Gesamtsumme. 75 in dieser Gruppe verletzten Gliedern entsprechen 25,5 % aller Verletzungen bei 1,3 Verletzungen pro Patient. 36,0 % (79 Fälle) der Verunglückten wurden schließlich der Gruppe IV (Kombinationstraumen) zugeteilt. Hier erlitt jeder Patient im Durchschnitt 1,3 Verletzungen, so daß 106 Verletzungen, das sind 36,7 %, zustande kamen.

Auffallend ist, daß der Anteil der Mehrfachverletzungen in jeder Gruppe etwa gleich war, daß also kein Verletzungsmechanismus für Mehrfachverletzungen prädestiniert scheint.

63,5 % (139 Fälle) der Verunglückten waren männlichen, 36,5 % (80 Fälle) weiblichen Geschlechts. Ähnlich ist auch die Geschlechtsverteilung in den einzelnen Gruppen. Lediglich bei den Schleuderverletzungen ist der Anteil der Frauen mit 45 % etwas höher.

Erhebliche Unterschiede bestehen in der altersmäßigen Zusammensetzung der vier Gruppen. Während in II und IV jeweils 64 % bzw. 60,7 % der Patienten älter als 50 Jahre waren, ergibt sich in I und III das umgekehrte Bild; hier sind 76,0 % bzw. 72,0 % jünger als 50 Jahre. Für das Gesamtmaterial resultiert daraus: 52 % standen im ersten bis fünften Dezennium, 48 % der Patienten waren älter als 50 Jahre. Am häufigsten wurde dabei das dritte, sechste, siebente und achte Lebensjahrzehnt erfaßt. Die übrigen Altersgruppen enthielten jeweils nur 10 % oder weniger der Fälle.

61,5 % der Verletzten (135 Personen) waren an einem Verkehrsunfall beteiligt (siehe Tab. 18), und zwar 48 % (65 Fälle) Fußgänger, 41 % Autoinsassen und 7,4 % Zweiradfahrer. In 3,7 % war der Verkehrsunfall nicht näher erläutert. Auffallend ist die geringe Beteiligung der Gruppe II an den Verkehrsunfällen, nämlich nur 28 %. Dagegen waren in der Gruppe I mit einer Ausnahme alles Autounfälle. Diese 28 Fälle stellen gleichzeitig 50 % aller Autounfälle. In der Gruppe II waren 62 % Verkehrsunfälle, davon 66 % Fußgänger und 25 % Autoinsassen. Ähnlich ist das Bild in der Gruppe IV mit 73 % Verkehrsunfällen, davon 67 % Fußgänger und 19 % Autoinsassen, außerdem wurden hier sieben der zehn Zweiradfahrer aufgeführt.

Bei den anderen Unfallursachen (38,5 % - siehe Tab. 18) wurde der Hauptanteil (60,7 %) durch die beiden Gruppen "Sturz aus der Höhe" und "Sturz auf ebener Erde" bestritten.

Art und segmentale Verteilung der Verletzungen

54,7 % von 219 Verunglückten verloren bei dem Unfall ihr Leben. 15,5 % starben an den erlittenen Begleitverletzungen. So bleiben 39,2 % der Patienten im Gesamtmaterial, die an tödlichen HWS-Verletzungen starben. Auffallend sind einerseits die geringe Zahl von Toten in den Gruppen I und III (3 % und 24 %), andererseits die hohen Mortalitäten in II und IV (79 % und 81 % - siehe Tab. 19).

Schädel-Hirn-Traumen waren nur in den Gruppen II bis IV aufgetreten ¹⁴⁷⁾. So ergibt sich bei einer Gesamtzahl von 190 Fällen (ohne Schleudertraumen) folgendes Resultat: 46,3 % der Verletzten hatten ein Schädel-Hirn-Trauma erlitten ¹⁴⁸⁾. Auch hier ist das Bild in den einzelnen Gruppen unterschiedlich. Nur 19 % erlitten in Gruppe III ein solches Trauma. Dagegen ist die Häufigkeit mit 56 % in der Gruppe II und 61 % in IV wesentlich höher.

147) Es kann jedoch auch ohne direkte Gewalteinwirkung am Schädel, lediglich durch starke Beschleunigungskräfte zu Hirnverletzungen kommen (siehe oben Kap. "Schleudererletzungen", 28 % Kommotiones bei den Schleudertraumen).

148) Deshalb soll bei Schädel-Hirn-Traumen möglichst eine Kontrollaufnahme der HWS gemacht werden: CHRIST (1959), MÜLLER (1959), ROQUES (1958), JUNGHANNS (1969 und 1970). SÄKER (1954) und MÜLLER (1962) fanden bei 25 % Schädelverletzungen eine HWS-Beteiligung, siehe auch JUNGHANNS (1969 und 1970), WELLMER et al. (1967), ZETTEL (1962).

Wie aus den unterschiedlichen Ergebnissen bei der Zählung der tödlichen Verletzungen zu erwarten ist, gestalten sich die Verhältnisse bei der Ordnung der Verletzungen nach den ACIR-Verletzungsgraden äußerst vielfältig (siehe Tab. 20).

Insgesamt betrachtet waren 3,4 % der Verletzungen "leicht", 24 % waren "nicht gefährlich", 33,2 % waren "gefährlich" und 38,2 % endeten tödlich. Die etwas veränderten Prozentzahlen bei den tödlichen Verletzungen kommen dadurch zustande, daß benachbarte Verletzungen im selben Segment nur einmal gezählt wurden.

In den einzelnen Gruppen wurden folgende Beobachtungen gemacht. In Gruppe I waren 21 % (!) der Verletzungen "leichter" Natur, 55 % waren "nicht gefährlich", 21 % "gefährlich" und nur 3 % tödlich. In allen übrigen Gruppen lag der Prozentsatz der "leichten" Verletzungen unter 5 %.

Die Zahl der "nicht gefährlichen" Verletzungen ist beim Schleudertrauma mit 55 % weit höher als sonst (21 % Gruppe II, 28,8 % Gruppe III und 10,6 % Gruppe IV).

Bei den übrigen Schweregraden sind die Unterschiede zwischen den Gruppen ebenfalls beträchtlich (siehe Tab. 20). Insbesondere besteht ein Gegensatz zwischen den Gruppen I und IV, während sich II und III in ihrem Verhalten ähneln.

Dies wird auch beim Vergleich der verschiedenen Verletzungsarten in den einzelnen Gruppen bestätigt (siehe Tab. 21).

Am deutlichsten ist der Unterschied bei den Weichteilverletzungen. Bei den Schleudertraumen beträgt der An-

teil dieser Verletzungsart 62 %, dagegen traten in der Gruppe IV nur in 11,8 % der Fälle Verletzungen der Muskeln, Bänder oder Zwischenwirbelscheiben allein auf. Die Gruppen II und III bewegen sich um einen mittleren Wert von 22 bzw. 25 %.

Luxationen und Luxationsfrakturen wurden in Gruppe I nur bei 21 % der Patienten festgestellt, dagegen in Gruppe IV bei 58,8 %, in II bei 57 % und in III bei 59 % der Fälle.

Lediglich in der Klasse der Frakturen ohne Dislokationen ergibt sich ein ausgeglichenes Bild zwischen den vier Gruppen: I = 17 %, II = 21 %, III = 15 % und IV = 29,4 %.

Die prozentuale Verteilung im Gesamtmaterial zeigt 24,2 % Weichteilverletzungen, 22,1 % Frakturen ohne gröbere Dislokation sowie 53,7 % Luxationen und Luxationsfrakturen.

Lokalisation der bisher beschriebenen Verletzungen in den einzelnen HWS-Abschnitten (Tab. 22):

Die obere HWS ist in allen vier Gruppen etwa gleich häufig betroffen. Bei den Schleuderverletzungen und den Hyperextensionsverletzungen lagen jeweils 21 % der Verletzungen dort. Die Hyperflexionsverletzungen liegen mit 13,5 % deutlich darunter, während die Kombinationstraumen mit 29,4 % eine leichte Bevorzugung dieses Abschnittes erkennen lassen.

Seltener wurde die mittlere HWS betroffen. In Gruppe I bei 17 % der Fälle, in Gruppe II waren es nur

15 %. Gruppe III erreichte 21,0 % und die Gruppe IV 21,2 %.

Eindeutig bevorzugt wurde in allen Gruppen die untere HWS: I = 41 %, II = 64 %, III = 62,1 % und IV = 48%.

In der Frage der auf die gesamte HWS lokalisierten Beschwerden unterschieden sich die Schleudertraumen von den übrigen Gruppen stark. 21 % der Patienten in Gruppe I gaben solche Beschwerden an. In Gruppe II kam dies nicht ein einziges Mal vor. In der Gruppe III waren es 3,4 % und in IV 1,2 %.

Bei der Untersuchung der Häufigkeit von Verletzungen in den einzelnen Wirbelsäulengliedern (siehe Tab. 24) sollen zunächst die Abschnitte null bis zwei, die zur "oberen HWS" zusammengefaßt wurden, untersucht werden.

Das oberste Segment (0), zu dem die beiden Condylia occipitales gehören, wurde in allen Gruppen sehr selten verletzt. Dabei wurde in Gruppe IV noch der relativ hohe Wert von 5,8 % der Verletzungen erreicht, während das obere Kopfgelenk in Gruppe II und III überhaupt nicht verletzt wurde. Für alle vier Gruppen zusammen ergibt sich ein Wert von 2,4 %, der etwa mit dem Ergebnis in Gruppe I übereinstimmt.

Das Segment Nr. 1 wurde in I und III mit jeweils etwa 3 % verletzt, in II und in IV in jeweils 11 % der Fälle. Der Mittelwert für alle Gruppen beträgt 7,6 %.

Am häufigsten wurde im Bereich der oberen HWS der Axis und die darunter liegende erste Bandscheibe (zweites Glied) verletzt. Der höchste Wert wurde in IV mit 18,8 % erreicht (I und II je 15 %, III = 12 %). Der errechnete

Prozentsatz für das Gesamtmaterial ist 15,6 %.

Die obere HWS insgesamt wurde also in Gruppe III am seltensten betroffen und in Gruppe IV am häufigsten (14,7 % und 35 %). Insgesamt war die obere HWS an 25,6 % aller Verletzungen beteiligt.

Die Glieder der mittleren HWS zeichnen sich durch eine relativ geringe Verletzungshäufigkeit aus. Das Glied Nr. 3 wurde in Gruppe III in 10,7 %, in I und IV in jeweils 9 % und in II sogar nur in 4 % der Fälle betroffen. Insgesamt betrachtet waren es 8,3 % für das dritte und 9,3 % für das vierte Segment. Zusammen also 17,6 % aller Verletzungen, die in der mittleren HWS lagen.

Die untere HWS wurde in allen vier Gruppen am häufigsten verletzt. Bei den einzelnen Gliedern wurden zwischen den einzelnen Gruppen zum Teil erhebliche Differenzen entdeckt.

So vereinigte das fünfte Glied in der Gruppe der Schleuderverletzungen 21 % der Verletzungen auf sich, wohingegen dieses Segment in den übrigen Gruppen nur in 12 - 13 % der Fälle verletzt wurde. Bei der Zusammenfassung der Fälle wurden 13,8 % errechnet.

Eine besondere Hervorhebung verdient das sechste Glied. Es war nämlich übereinstimmend in allen vier Gruppen das von allen Segmenten am häufigsten verletzte. Die Zahlen für die einzelnen Gruppen: I = 21 %, II = 29 %, III = 34,7 % und IV = 18,8 %. Bei der Gesamtwertung wurden 26,1 % errechnet.

Die Verletzungshäufigkeit des siebenten Gliedes

ähnelt wieder der des fünften, wobei die Übereinstimmung der Prozentzahlen in den einzelnen Gruppen auffällt.

Gruppe I = 15 %, II = 17 %, III = 17,3 % und IV = 14 %.

Die gesamte Häufigkeit beträgt 15,9 %.

Am seltensten wurde der eigentlich nicht mehr zur HWS gehörige erste Brustwirbel verletzt (Glieder Nr. 8), nämlich nur in 1 % der Fälle. Bei den Schleuder- und Anteflexionsverletzungen wurde dieser Wirbel überhaupt nicht verletzt, in Gruppe II zweimal und in IV einmal.

Abschließend soll der Zusammenhang zwischen dem Alter und der Lage der Verletzungen in den einzelnen HWS-Abschnitten sowie dem Auftreten der verschiedenen Verletzungsarten geprüft werden (siehe Tab. 23 und 25). Auch einer eventuellen altersmäßigen Abhängigkeit der Schwere der Verletzungen soll nachgegangen werden (siehe Tab. 26). Getrennte Verletzungen in den verschiedenen HWS-Abschnitten werden wieder wie mehrere Verletzungen behandelt.

Es wurden für jedes Dezennium die Prozente der Verletzungen in der oberen, mittleren und unteren HWS ermittelt (siehe Tab. 23). Hierbei zeigte sich, daß die Verhältnisse in den einzelnen Dezennien durchaus unterschiedlich sind.

Auffällig ist vor allem, daß in den ersten beiden Lebensjahrzehnten die Häufigkeit, mit der die drei HWS-Abschnitte betroffen werden, fast gleich groß ist. Für das erste Dezennium ist das Verhältnis obere zu mittlerer zu unterer HWS wie 3:2:3. Im zweiten Dezennium ist das Verhältnis 8:7:8, auf jeden Abschnitt entfielen also etwas

über 30 % der Fälle.

Anders das dritte Dezennium: Hier waren es nur noch 19 % der Verletzungen, die die obere HWS trafen, 21 % in der mittleren HWS und 58 % in der unteren HWS (2 % diffuse Beschwerden). Dies ist gleichzeitig das einzige Mal, daß die mittlere HWS an zweiter Stelle der Verletzungshäufigkeiten stand.

Im vierten Dezennium sind es 30 % obere HWS gegenüber 15 % mittlere HWS und 50 % untere.

Im fünftten Dezennium wurden die beiden oberen HWS-Abschnitte mit jeweils 19 % gleich selten verletzt, die untere HWS erreichte 48 %. Erstaunlich: 14 % diffuse Beschwerden über der ganzen HWS in dieser Altersklasse.

Von nun an steigt die Häufigkeit der Verletzungen in der unteren HWS kontinuierlich, um mit 84 % im neunten Lebensjahrzehnt ihren Höhepunkt zu erreichen (die übrigen Werte siehe Tab. 23).

Die oberen und mittleren Abschnitte verhalten sich nicht so eindeutig, jedoch wurde jedesmal die obere HWS häufiger verletzt als die mittlere. Beide erreichen einen Tiefstwert von 8 % im neunten Dezennium.

Beschwerden, die sich über die gesamte HWS erstreckten, wurden nur noch im siebenten Dezennium in 10 % der Fälle angegeben.

Es muß hier aber darauf hingewiesen werden, daß sich wegen der kleinen Fallzahlen besonders im ersten und neunten Dezennium kleine Änderungen der Verletzungszahlen in relativ großen Änderungen der Prozentzahlen nieder-

schlagen, obwohl die Verhältnisse ziemlich eindeutig zu sein scheinen.

Für das Gesamtmaterial war die prozentuale Verteilung auf die einzelnen Abschnitte wie folgt: 21,8 % obere HWS, 18,3 % mittlere HWS, 56 % untere HWS und 3,9 % diffus.

Die Art der erlittenen Verletzungen scheint nicht in einem solchen Maße altersabhängig zu sein (siehe Tab. 25). Dennoch ist der Anteil der Weichteilverletzungen im ersten und zweiten Dezennium mit 62 % bzw. 42 % hoch, während er in den anderen Altersklassen zwischen 10 und 20 % liegt und im neunten Jahrzehnt sogar nur 8 % beträgt (Gesamtmaterial 23,2 %).

Für die Frakturen ohne Dislokation ist die Streuung ziemlich groß, ihre Häufigkeit schwankt zwischen 15 und 30 %, im dritten Dezennium betrug ihre Häufigkeit 37 %, im ersten wurden sie überhaupt nicht beobachtet. Der Gesamtanteil betrug 22,2 %.

Die Luxationen und Luxationsfrakturen haben ebenfalls keinen ausgesprochen altersmäßigen Schwerpunkt. Im vierten, sechsten und achten Dezennium beträgt der Anteil dieser Verletzungsart um 70 %, im siebenten und neunten etwa 60 %, im ersten bis dritten und im fünften Jahrzehnt waren es ungefähr 40 % (Gesamtmaterial 54,6 %).

Zum Schluß dieses Kapitels soll die altersmäßige Verteilung der Schweregrade der Verletzungen betrachtet werden (siehe Tab. 26).

Neun der elf als "leicht" bezeichneten Verletzungen traten im zweiten bis fünften Dezennium auf, wo sie einen

Anteil von 5 bis 15 % der Verletzungen ausmachten (Gesamtmaterial 4,8 %).

50 % der Traumen im ersten Dezennium und 42 % derer im zweiten waren "nicht gefährlich". Auch im dritten Jahrzehnt entsprachen noch 33 % der Verletzungen diesem Schweregrad, während es in den übrigen Dezennien nur noch 10 bis 15 % waren (Gesamtanteil 22,7 %).

Die "gefährlichen" Verletzungen erreichten ihre Höchstzahl von 50 % im vierten Dezennium. In den beiden davor und danach liegenden Jahrzehnten waren es jeweils zwischen 35 und 40 %. Im siebenten und neunten Dezennium traten etwa 25 % "gefährliche" Verletzungen auf (Gesamtmaterial 33,6 %).

Im zweiten Dezennium trat nur eine tödliche HWS-Verletzung auf (4 %), in den folgenden dritten bis fünften Lebensjahrzehnten war der Anteil tödlicher Schäden 25 bis 35 %, im ersten Dezennium 38 %. Vom sechsten Jahrzehnt ab geht der Anteil der Todesfälle sogar auf 55 %, im achten Dezennium sind es 63 %. Der Prozentsatz im Gesamtmaterial liegt bei 38,9 % tödlicher Verletzungen.

Tabelle 18: Unfallursachen in den Gruppen I - IV ⁺

	I	II	III	IV	Summe
Verkehrs- unfall	28 (97)	32 (62)	17 (28)	58 (73)	135 (62)
Autounfall	28	8 (25)	8	11 (19)	55 (41)
Fußgänger	-	21 (66)	5	39 (67)	65 (48)
2-Rad	-	-	3	7 (12)	10 (7)
sonst.	-	3 (9)	1	1	5 (4)
Übrige Ursachen	1 (3)	20 (38)	42 (72)	21 (27)	84 (38)
Sturz (Höhe)	-	4	7	5	16 (19)
Sturz (Boden)	-	6	28	1	35 (42)
sonst.	1	10	7	15	33 (39)

Tabelle 19: Todesfälle in den Gruppen I - IV ⁺

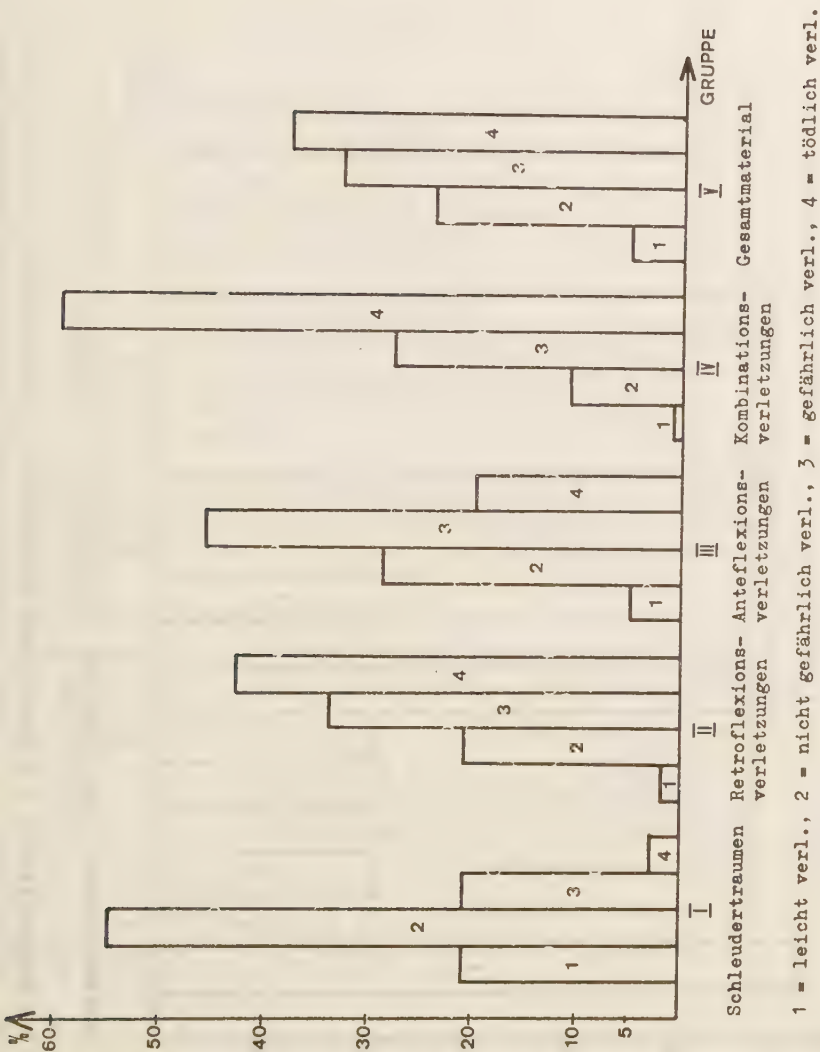
	I	II	III	IV	Summe
insgesamt	1 (3)	41 (79)	14 (24)	64 (81)	120 (54,7)
HWS ⁺⁺	1 (3)	23 (44)	12 (20,4)	50 (63)	86 (39,2)
Fälle	29	52	59	79	219

Die Zahlen in Klammern entsprechen den Prozentzahlen.

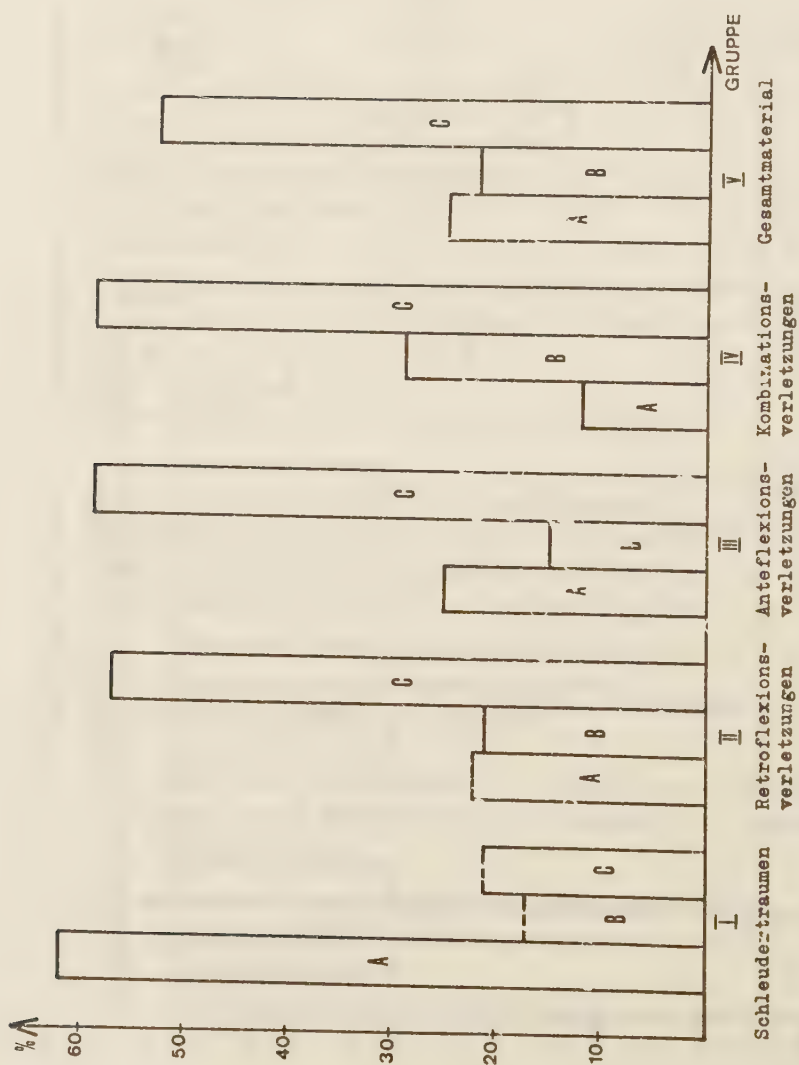
⁺ I = Schleuderverletzungen, II = Retroflexionsverletzungen, III = Anteflexionsverletzungen, IV = Kombinationsverletzungen

⁺⁺ Hier sind diejenigen Fälle zusammengefaßt, bei denen eine tödliche HWS-Verletzung vorlag.

Tab. 20: Schwere der Verletzungen bei verschiedenen Verletzungsmechanismen



Tab. 21: Art der Verletzungen bei verschiedenen Verletzungsmechanismen



A = Weichteilverl., B = Fraktur ohne Dislokation, C = Luxationen u. Luxationsfrakturen

Tab. 22: Häufigkeit der Verletzungen in den einzelnen HWS-Abschnitten bei verschiedenen Verletzungsmechanismen

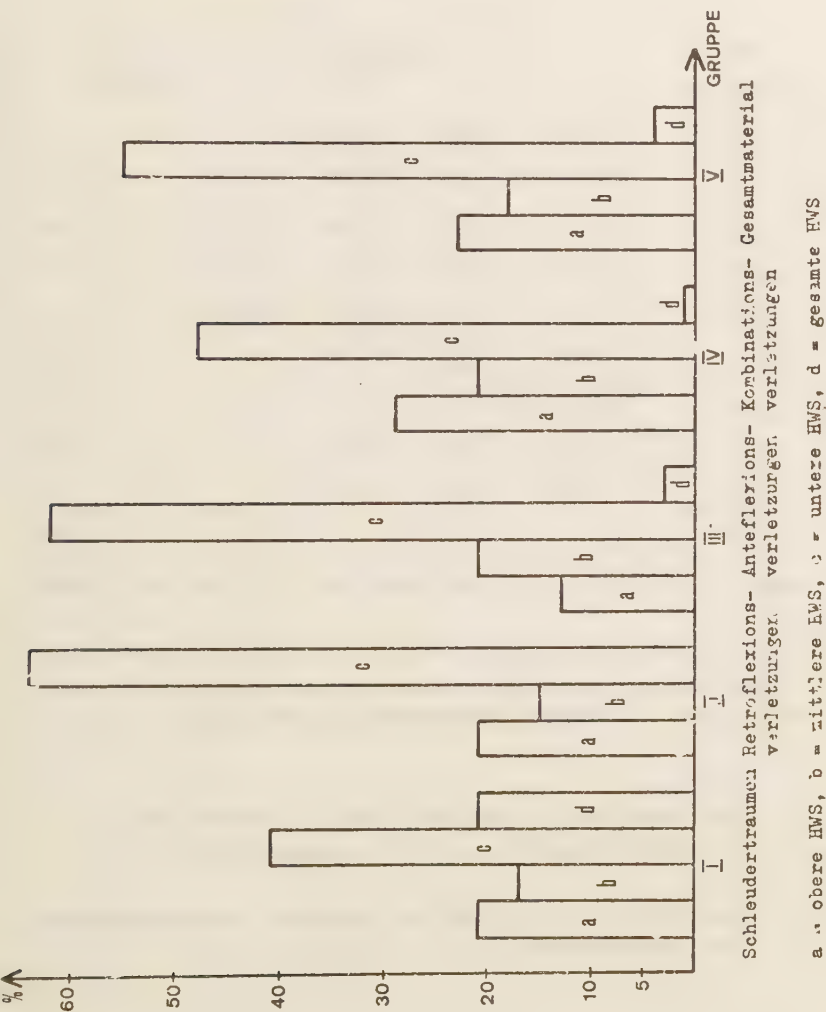


Tabelle 23: Altersabhängigkeit der Verletzungen in den einzelnen HWS-Abschnitten

Dezennium	Abschnitt ⁺				Summe
	a	b	c	d	
1.	3 (37)	2 (26)	3 (37)	-	8 (3,5)
2.	8 (33)	7 (29)	8 (33)	1 (5)	24 (10,5)
3.	9 (19)	10 (21)	28 (58)	1 (2)	48 (20,9)
4.	6 (30)	3 (15)	10 (50)	1 (5)	20 (8,7)
5.	4 (19)	4 (19)	10 (48)	3 (14)	21 (9,2)
6.	8 (26)	6 (19)	17 (55)	-	31 (13,5)
7.	5 (16)	4 (13)	19 (61)	3 (10)	31 (13,5)
8.	6 (19)	5 (16)	21 (65)	-	32 (14,0)
9.	1 (8)	1 (8)	11 (84)	-	13 (5,7)
10.	-	-	1	-	1 (0,5)
Summe	50 (22)	42 (18)	128 (56)	9 (4)	229 ⁺⁺ (100)

Die Zahlen in Klammern entsprechen den Prozenten.

⁺ a = obere HWS, b = mittlere HWS, c = untere HWS,
d = diffuse Beschwerden in der gesamten HWS

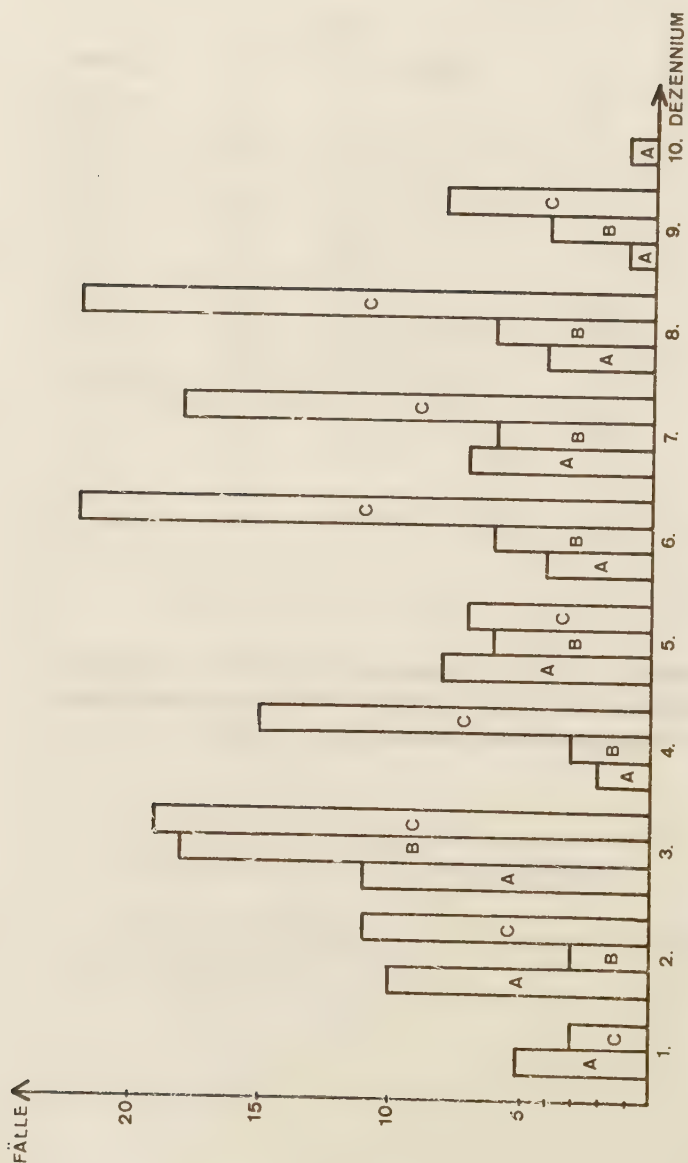
⁺⁺ Die Zahl 229 entspricht 229 verletzten HWS-Abschnitten bei 219 Patienten.

Tabelle 24: Prozentuale Verteilung der Verletzungen auf die einzelnen HWS-Segmente bei verschiedenen Verletzungsmechanismen

Segment	Gruppe								Summe
	I		II		III		IV		
0	3		-		-		6		2,4(7)
1	3	21	11	26	2,7	14,7	10	35	7,6(22) 25,6
2	15		15		12		19		15,6(5)
3	9		4		10,7		9		8,3(24)
4	12	21	8	12	9,3	20	9	18	9,3(27) 17,6
5	21		13		13,3		12		13,8(40)
6	21		29		26		19		26,1(75)
7	15	57	17	62	7,3	65,3	14	46	15,9(46) 56,8
8	-		3		-		1		1,0(3)
Summe	100		100		100		100		100 (289)

Alle Zahlen sind Prozentangaben bis auf die in Klammern gesetzten in der letzten Spalte, welche die Absolutwerte aus dem Gesamtmaterial darstellen.

Tab.25: Altersverteilung der verschiedenen Verletzungsarten



A = Weichteilverl., B = Fraktur ohne Dislokation, C = Luxationen u. Luxationsfrakturen

Tabelle 26: Abhängigkeit der Schwere der Verletzungen
vom Alter, n = 229.

Dezennium	Schweregrad ⁺				Summe
	1	2	3	4	
1.	-	4 (50)	1 (12)	3 (38)	8 (3,5)
2.	3 (12)	10 (42)	10 (42)	1 (4)	24 (10,5)
3.	2 (5)	16 (33)	18 (37)	12 (25)	48 (20,9)
4.	1 (5)	2 (10)	10 (50)	7 (35)	20 (8,7)
5.	3 (14)	5 (24)	8 (38)	5 (24)	21 (9,2)
6.	-	3 (10)	11 (35)	17 (55)	31 (13,5)
7.	2 (6)	5 (16)	7 (23)	17 (55)	31 (13,5)
8.	-	4 (12)	8 (25)	20 (63)	32 (14,0)
9.	-	3 (23)	3 (23)	7 (54)	13 (5,7)
10.	-	-	1	-	1 (0,5)
Summe	11 (5)	52 (23)	77 (34)	89 (39)	229 (100)

Die Zahlen in Klammern sind Prozentangaben

⁺ 1 = leicht verletzt, 2 = nicht gefährlich verletzt,
3 = gefährlich verletzt, 4 = tödlich verletzt

5.6 Vergleich zwischen tödlichen und überlebten

HWS-Verletzungen

Aus verschiedenen Gründen sollen diese beiden Gruppen einander gegenübergestellt werden: Es besteht - wie oben schon angedeutet - eine Diskrepanz in der Genauigkeit der Befunde, die einerseits durch eine Sektion, andererseits am Lebenden erhoben wurden. Das Röntgenbild zeigte dabei oft keinen pathologischen Befund, besonders wenn keine Funktionsaufnahmen gemacht wurden. Auch die fach-neurologische Untersuchung wurde nicht immer vorgenommen, so daß eine genauere Befunderhebung auf diesem Wege auch nicht möglich war. Es soll also geprüft werden, ob ein Unterschied insbesondere in der Lokalisation der Verletzungen auf einzelne Wirbel zwischen den beiden Gruppen besteht.

Andererseits wäre ein unterschiedliches Verhalten der beiden Gruppen in diesem Punkt auch dadurch zu erklären, daß die Verletzungen in einem bestimmten HWS-Abschnitt besonders gefährlich sind.

In 86 von 219 Fällen lagen tödliche HWS-Verletzungen vor. Dabei traten 116 Einzelverletzungen auf (1,35 pro Patient).

Die Auswertung (Tab. 27) zeigt, daß Verletzungen der oberen drei Glieder (0 - 2) in der Gruppe der tödlich Verletzten wesentlich häufiger sind als bei den Überlebenden, und zwar um 13,3 % (33,6 % zu 20,3 %).

Genau umgekehrt sind die Verhältnisse im Bereich der mittleren HWS. Dieser Abschnitt wurde bei den nicht

tödlichen Verletzungen doppelt so häufig betroffen wie bei den Fällen mit tödlichem Ausgang (21,9 % zu 11,2 %); und zwar ist es das vierte Glied, welches die stärkste Abweichung zeigt (12,7 % der nicht tödlichen, 4,3 % der tödlichen Verletzungen).

Im unteren HWS-Bereich sind die Verhältnisse ausgeglichen. Dieser Abschnitt wurde bei den überlebten Fällen nur um 2,6 % häufiger verletzt als bei den tödlichen (57,8 % zu 55,2 %).

Innerhalb der einzelnen Abschnitte ist in beiden Gruppen das 6. Glied durch die größte Verletzungshäufigkeit ausgezeichnet. Es folgt in der Häufigkeit bei den tödlichen Verletzungen das 7. Glied, bei den nicht tödlichen jedoch das fünfte. An dritter Stelle steht aber in beiden Fällen wieder das 2. Glied, welches bei den überlebenden Patienten genau so häufig verletzt wurde wie das siebente.

Sehr große Unterschiede sind zwischen den beiden Gruppen bei der Häufigkeit der einzelnen Arten von entstandenen Verletzungen zu verzeichnen (siehe Tab. 28).

Die Weichteilverletzungen ohne Dislokation im Bewegungssegment traten bei den tödlichen Verletzungen überhaupt nicht auf. Dagegen ist ihr Anteil bei den Überlebenden 38,4 %.

Die Frakturen ohne Dislokation machen nur 5,8 % der Todesfälle aus, dagegen 32,2 % der Nicht-Todesfälle.

94,2 % der tödlichen Verletzungen waren Luxationen oder Luxationsfrakturen, wogegen ihr Anteil in der anderen

Gruppe nur 29,4 % der Verletzungen betrug. Dies ist ein wichtiger Hinweis darauf, welcher Zusammenhang zwischen der Verletzungsart und der Schwere der Verletzung besteht.

Tabelle 27: Unterschiedliche Lokalisation von nicht tödlichen und tödlichen Verletzungen in den einzelnen Gliedern der HWS, n = 289.

Segment	nicht tödlich		tödlich	
0	2 (1,2 %)		5 (4,3 %)	
1	9 (5,2 %)	20,3 %	13 (11,2 %)	33,6 %
2	24 (13,9 %)		21 (18,1 %)	
3	16 (9,2 %)	21,9 %	8 (6,9 %)	11,2
4	22 (12,7 %)		5 (4,3 %)	
5	28 (16,2 %)		12 (10,3 %)	
6	47 (27,1 %)	57,8 %	28 (24,2 %)	55,2
7	24 (13,9 %)		22 (19,0 %)	
8	1 (0,6 %)		2 (1,7 %)	
Summe	173 (100 %)		116 (100 %)	

Tabelle 28: Art und Lokalisation von überlebten und tödlichen Verletzungen in den drei HWS-Abschnitten.

28a: Überlebte Verletzungen

Abschnitt	++	Art der Verletzung ⁺			Summe
		A	B	C	
a		16	7	4	27 (18,9 %)
b		13	7	11	31 (21,7 %)
c		17	32	27	76 (53,0 %)
d		9	/	/	9 (6,0 %)
Summe		55(38,4 %)	46(32,2 %)	42(29,4 %)	143 (100 %)

28b: Tödliche Verletzungen

Abschnitt	++	Art der Verletzung ⁺			Summe
		A	B	C	
a		/	/	24	24 (27,9 %)
b		/	2	11	13 (15,1 %)
c		/	3	46	49 (57,0 %)
Summe		0(0 %)	5(5,8 %)	81(94,2 %)	86 (100 %)

Die Zahlen in Klammern stellen die prozentualen Anteile dar.

⁺ A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne größere Dislokation, C = Luxationen und Luxationsfrakturen

⁺⁺ a = obere HWS, b = mittlere HWS, c = untere HWS, d = diffuse Beschwerden im ganzen HWS-Bereich

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1 Lokalisation der Verletzungen

Wie aus Tabelle 22 ersichtlich ist, bestehen bezüglich der Lokalisation von Verletzungen zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Verletzungsgruppen. Dies gilt insbesondere für die Häufigkeit, mit der einer der drei HWS-Abschnitte verletzt wurde. Dagegen fällt auf, daß jeweils bestimmte Glieder in den Abschnitten besonders verletzungsanfällig sind, gleich ob dieser Teil der HWS häufig verletzt wurde oder nicht (besonders C₂ und C₆, siehe Tab. 24).

In der Literatur ¹⁴⁹⁾ wurden nur Tabellen gefunden, die bei der Auswertung der Verletzungslokalisation den Verletzungsmechanismus unberücksichtigt lassen. Diese Werte müssen also mit denen in der letzten Spalte von Tabelle 24 verglichen werden (Zusammenfassung des Gesamtmaterials). Die Befunde von LANGWORTHY (1930) und WOLFF (1962) lassen sich dabei nur unter Vorbehalt berücksichtigen, da der erste nur bilaterale Luxationen im Bereich der HWS gezählt hat und der zweite nur Bandscheibenprolapse. Bei allen Autoren traten die Verletzungen am häufigsten im Bereich der unteren HWS auf. Die Prozentzahlen schwanken zwischen 74 - 77 % und 51 bzw. 52 %. Die letzten Zahlen liegen den von mir gefundenen Ergebnissen am nächsten (57 %). Lediglich ein Autor gibt den niedrigen Prozentsatz von 35 % für diesen Abschnitt an ¹⁵⁰⁾. Dieser Autor fand dagegen

149) Siehe Tabelle 31

150) KULOWSKI 1960

Tabelle 31: Lokalisation von HWS-Verletzungen in der Literatur

Segment	LANGWORTHY ⁺ (1930)	SANDERBUSCH ⁺	LOB ⁺ (1954)	WOLFF ⁺ (1962)	KULOWSKI (1960)	AMYES (1956)	GELEHRTER u. VITALLI (1960)	REHN ⁺ (1968)	eigene Untersuch.
0	-	-	-	-	-	-	-	-	7 (2,4)
1	1 (6)				19 (48)	72 (16)		14 (6,6)	22 (7,6)
2	3 (18)	7 (26)	14 (26)	1 (2)	5 (12)	80 (17)	28 (15)	32 (15,1)	45 (15,6)
3	1 (6)			4 (9)			9 (5)	17 (8,0)	24 (8,3)
4	3 (18)			5 (12)	2 (5)	73 (16)	23 (13)	21 (9,9)	27 (9,3)
5	6 (34)	6 (22)	10 (18,5)	16 (37)	3 (7)	102 (22)	36 (20)	47 (22,2)	40 (13,8)
6	3 (18)	9 (34)	20 (37)	17 (40)	6 (15)	92 (20)	62 (34)	60 (28,3)	75 (26,1)
7		5 (18)	10 (18,5)		5 (13)	45 (9)	23 (13)	21 (9,9)	46 (15,9)
8									3 (1)
	⁺ nur bilaterale Luxationen	⁺ zit.nach DIETHELM-CLAUSE (1968)	⁺ ohne Kon-tusionen und Dis-torsionen	⁺ nur Bandscheiben-prolapse				⁺ nur Frakturen	

Die Zahlen in Klammern stellen Prozentwerte dar.

GAMMACK (1957): 11 Frakturen, 9 davon bei C₅/C₆

48 % (!) der Verletzungen in seinem Material auf den ersten Halswirbel lokalisiert. Insgesamt 60 % der Verletzungen lagen bei ihm im Bereich der oberen HWS.

Zunächst stellt sich die Frage, wie die auch von anderen Autoren ¹⁵¹⁾ betonte Polarisierung der Verletzungen an den beiden Enden der Gliederkette zustande kommt. Offensichtlich handelt es sich bei diesen Bereichen um diejenigen mit der größten sagittalen Beweglichkeit ¹⁵²⁾. Dieser "Hypomochlioncharakter" der oberen und unteren HWS wird auch von anderen als Grund für die Verletzungshäufigkeit angegeben ¹⁵³⁾. Ich habe oben auf die funktionell-anatomischen Grundlagen einer solchen Anschauung hingewiesen.

Für die Anteflexionsverletzungen wurde schon oben darauf hingewiesen, daß die letzte Phase der Bewegung im Kopfgelenk dadurch gehemmt wird, daß das Kinn bei vorgebeugtem Halse auf die Brust trifft und so eine weitere Flexion abbremst. Es kommt dabei im wesentlichen zu einer Streckung der gesamten HWS mit scharfer Abknickung kurz vor der Verankerung über der unbeweglichen Brustwirbelsäule. Erwartungsgemäß ist die Verletzungsquote der unteren HWS hier die höchste aller Gruppen (65 %). In die-

151) CAMMACK 1957; KUHLENDahl 1964 und 1966; EMMINGER 1967; MÜLLER 1966; GÖGLER 1962 und 1968.

152) Ebenda

153) SOLLMANN (1968) spricht insbesondere von einem unteren Drehpunkt, siehe auch das von FIALA, CLEMENS und BUROW (1970) entwickelte Modell der HWS.

sem Bereich wird also ein besonders hoher Betrag der einwirkenden kinetischen Energie in statische Energie umgewandelt, was zu einer übermäßigen Belastung des Gewebes führt 153).

Bei den Schleuderverletzungen sind die Verhältnisse anders. Hier wird die untere HWS weniger häufig betroffen (57 %), dafür hat die mittlere HWS vergleichsweise zu den anderen Gruppen mit 21 % einen relativ höheren Wert, welcher der Verletzungshäufigkeit der oberen HWS entspricht. Es muß davon ausgegangen werden, daß in den meisten Fällen die verletzten Personen in von hinten angefahrenen Fahrzeugen saßen, so daß zunächst die Schleuderung in eine Hyperextension mündete, um dann in der zweiten Phase noch zu einer Anteflexion zu führen. Es kamen also beide Verletzungsmechanismen zur Wirkung. Jedoch liegt ein entscheidender Unterschied im Vergleich mit den anderen Gruppen darin, daß Stauchungs- und Scherkräfte bei dieser indirekten Kraftübertragung am Kopf-HWS-System im Sinne der "offenen kinetischen Kette" (siehe oben) nicht auftreten, sondern daß es sich hier wegen der Kreisbewegung des Kopfes bei hohen Winkelbeschleunigungen um Zug- und Torsionskräfte handelt. Die Verletzungen sind mehr über die gesamte HWS verteilt. Jedes Bewegungssegment muß einen seiner Beweglichkeit entsprechenden Energiebetrag aufnehmen, weil die Schleuderung unbehindert bei frei beweglichem Kopf erfolgt und erst durch das Erreichen der Bewegungsgrenzen auf der Höhe der einzelnen Glieder "stufenweise" abgebremst wird.

153) Die obere HWS wurde dagegen nur in 14,7 % der Fälle verletzt, die mittlere in 20 %.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die Patienten mit Schleuderverletzungen zu 76 % jünger als 50 Jahre waren (siehe Tab. 1). Dies ist deshalb wichtig, weil in dieser Altersklasse noch nicht mit einer so starken Degeneration insbesondere der unteren Bewegungssegmente zu rechnen ist. Deshalb sind die Grenzen der Belastbarkeit nicht durch Vorschädigungen verschoben.

Die Ergebnisse bei den Retroflexionsverletzungen lassen sich aus dem schon Gesagten erklären. Die Bewegung in den Kopfgelenken (26 % Verletzungen der oberen HWS) erfolgt ungehemmt und eine Hemmung der Rückwärtsbewegung entsteht zuerst in der unteren HWS, also über der Verankerung an der starren Brustwirbelsäule. In diesem Bereich waren 62 % der Verletzungen lokalisiert. Gleichzeitig kommt noch eine gewisse Gewalteinwirkung in Form von Stauungskräften in axialer Richtung dazu.

Am deutlichsten wird die Polarisierung der Verletzungen in der Gruppe der Kombinationstraumen. Hier, wo die Vermischung aller Mechanismen vorliegt, ohne daß die Richtung einer Hauptgewalt nachträglich bestimmbar wäre (z.B. beim Überschlagen im Pkw), ist mit einer Vielzahl schräger und drehender Kräfte zu rechnen. Die aufgetretenen Gewalten waren in dieser Gruppe besonders groß.

Entsprechend der großen Zahl "hoher HWS-Verletzungen" ist die Zahl der tödlichen Verletzungen in dieser Gruppe (IV) besonders hoch. Es ließ sich bei der getrennten Auswertung von tödlichen und überlebten HWS-Verletzungen zeigen (siehe Tab. 27), daß in der Klasse der töd-

lichen Verletzungen deutlich mehr in den oberen HWS-Gliedern lokalisiert waren (33,6 %) als bei den nicht tödlichen (20,3 %). Dafür wurden im mittleren HWS-Bereich deutlich mehr nicht tödliche Verletzungen gefunden (20,9 %) als tödliche (11,2 %). Im unteren HWS-Bereich besteht lediglich ein Unterschied von 2,6 % zwischen den tödlichen und den nicht tödlichen Verletzungen.

Eine Erklärung dieser Befunde ist einmal in den besonderen topographischen Verhältnissen der Kopf-Hals-Übergangsregion zu suchen. Dort besteht eine besondere Nähe zu lebenswichtigen Zentren und die Aa. vertebrales werden einer erhöhten Längenbelastung ausgesetzt. Zum anderen in der Tatsache, daß eine Gewalteinwirkung in den Bewegungssegmenten zunächst eine Weichteilverletzung hervorrufen wird (siehe unten). Weiteren Auswirkungen steht ein knöcherner Widerstand entgegen, der durch die Stauchung der Dornfortsätze, Abstützung der vorderen Wirbelkörperkanten und Verhakung der Gelenkfortsätze zustandekommt. Deshalb sind zunächst größere Gewalteinwirkungen nötig, um diese Bewegungshemmung zu überwinden und weitere Schäden am Bewegungssegment zu verursachen. An den Kopfgelenken tritt erst relativ spät ein solcher knöcherner Widerstand auf, so daß schon größere Bänderzerreißen aufgetreten sind, verbunden mit einer entsprechenden Dislokation, ehe die Rückbeugung durch das Aufeinandertreffen von Hinterhauptschuppe und hinterem Atlasbogen gebremst wird. Dadurch sind eher bedeutende Extrembewegungen möglich, die das Rückenmark oder das verlängerte Mark einquetschen. Dies

gilt in besonderem Maße für extreme Rotationen, die somit leicht zu Verletzungen am Kopf-HWS-Übergang führen.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Lokalisation hat außerdem das Alter der Verletzten. (Siehe Tab. 23) Mit zunehmendem Alter steigt die Verletzungshäufigkeit in den unteren Abschnitten entsprechend dem Auftreten degenerativer Vorschädigungen. Im neunten Dezennium erreicht die Verletzungshäufigkeit der unteren HWS mit 84 % einen Höchstwert.

6.2 Art der Verletzungen

Auch in der Art der aufgetretenen Verletzungen nimmt das Schleudertrauma eine Sonderstellung innerhalb der HWS-Verletzungen ein.

Viele Autoren weisen darauf hin, daß ein Überwiegen der Weichteilverletzungen für das Schleudertrauma charakteristisch ist ¹⁵⁴⁾. Es wird betont, daß erst nach einem beschwerdefreien Intervall, das Stunden oder Tage dauern kann, sich Schmerzen und Bewegungseinschränkungen einstellen ¹⁵⁵⁾. Charakteristisch sind weiterhin radikuläre Symptome und Schluckbeschwerden. Das Röntgenbild bleibt in den Standardaufnahmen zumeist symptomlos, es sei denn, es lassen sich Steilstellungen von HWS-Abschnitten, Knickbildungen oder Opaleszenzen an den Ventralflächen der Wir-

154) MÜLLER 1966; ERDMANN 1967 und 1968; WEIL 1968; GÖGLER 1962 und 1968; EMMINGER 1970.

155) MÜLLER 1966; BILLIG 1959; ADACHI et al. 1965.

belkörper nachweisen. Letzteres wird als Hinweis auf das Vorhandensein eines retropharyngealen Hämatoms gewertet. Erst die Funktionsaufnahme in maximaler Ante-Retroflexion läßt umschriebene Bewegungsanomalien in einzelnen Gliedern deutlicher werden ¹⁵⁶⁾.

Im vorliegenden Material hatten die "Weichteilverletzungen" bei den Schleuderverletzungen eine relative Häufigkeit von 62 % (siehe Tab. 3 und 22). Dieser Wert liegt deutlich über der Häufigkeit dieser Verletzungsart in den anderen Gruppen (22 - 29 %, siehe Tab. 22).

Die Tatsache, daß die Symptome regelmäßig erst verspätet auftraten ¹⁵⁷⁾, weist darauf hin, daß sich hier Blutungen z.B. in die kleinen Wirbelgelenke bzw. ödematöse Schwellungen ausbildeten. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die hier auftretenden Zug- und Torsionskräfte zunächst die Weichteile verletzen, wohingegen die Scher- und Stauchungskräfte in den anderen Fällen der direkten Kraftübertragung eher knöcherne Verletzungen Folge haben.

In den Gruppen II bis IV ist der Anteil der Luxationen und Luxationsfrakturen mit 57 % bis 59 % (siehe Tab. 22) auffallend hoch.

156) DE PALMA 1959; BUONOCORE et al. 1966.

ABEL (1959) gibt spezielle Aufnahmetechniken zur Erkennung minimaler Frakturen an der HWS an.

Zur Funktionsdiagnostik siehe besonders BUETTI-BÄUML (1954), GUTMANN (1968).

157) Jedoch bestehen typischerweise oft längeranhaltende neuro-vegetative Beschwerden: GEHLE 1968; GOTTEN 1956; KULOWSKI 1958; WICKSTROM et al. 1965; IKEDA et al. 1969. LEICHSENRING (1964) fand dazu als anatomisches Substrat v.Paccini-Körperchen, die von starken Ödemen umgeben waren.

Knochenverletzungen ohne gröbere Dislokation weisen auch in diesen Gruppen keine erhöhte Häufigkeit auf. Dies liegt daran, daß HWS-Verletzungen bei freier Beweglichkeit immer mit Extrembewegungen des Gliedersystems einhergehen, so daß eine Lockerung im Bewegungssegment z.B. durch eine Fraktur eine Verstärkung dieser Extrembewegungen zur Folge hat und somit eine irreversible Dislokation der frakturierten Fragmente.

Ein Einfluß des Alters auf die Art der entstehenden Verletzungen scheint ebenfalls gegeben zu sein (siehe Tab. 25). Es fällt auf, daß die Luxationen und Luxationsfrakturen besonders im 4., 6., 7. und 8. Dezennium stark überwiegen ¹⁵⁸⁾.

Ein Zusammenhang zwischen der Art der entstandenen Verletzungen und ihrer Schwere ist stark ausgeprägt. Von den tödlichen Verletzungen waren 94,2 % Luxationen oder Luxationsfrakturen und keine Weichteilverletzungen (siehe Tab. 28b). Obwohl immer wieder betont wird, daß auf der Grundlage eines "Kneifzangenmechanismus" oder durch Lockerungen im Bewegungssegment bei Bänder- Bandscheibeneinrissen Rückenmarksverletzungen entstehen können, wurde diese Verletzung in dem vorliegenden Material nicht beobachtet. Der Anteil tödlicher Verletzungen steigt vom 6. Dezennium an auf über 50 % (siehe Tab. 26), während praktisch keine Verletzungen mehr als "leicht" einzustufen waren.

158) Zur Bedeutung degenerativer oder angeborener Vorschädigungen siehe besonders FRANKEL (1959), WITT (1960), JUNGHANNS (1966).

6.3 Fragebogen, Sektionen und Experimente

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Krankengeschichten und Sektionsprotokolle, so wie sie vorgefunden werden, nicht geeignet sind, um genauere Aussagen über den Entstehungsmechanismus der verschiedenen HWS-Verletzungen zu machen oder die Biomechanik z.B. der Schleuderverletzungen zu erforschen.

Es wurde deshalb ein klinischer Fragebogen entworfen (Abb. 1), welcher bei geringem Aufwand eine wesentliche Unterstützung bei der Befundung darstellt. Besonders wichtig ist die genaue Beschreibung des Unfalls, aus der sich Schlüsse auf den Verletzungsmechanismus ziehen lassen. Dieser Mechanismus wird auch durch die Beschreibung äußerer Verletzungen und sonstiger Verletzungen weiter erklärt. So geben z.B. Prellmarken, Platzwunden oder Frakturen Auskunft darüber, aus welcher Richtung und an welcher Stelle eine Gewalteinwirkung erfolgte. Die Beschreibung neurologischer Befunde und besonders druckschmerzhafter Punkte ermöglicht eine Lokalisation der Verletzungen in den Fällen, wo diese röntgenologisch nicht in Erscheinung treten. Darüberhinaus läßt das Maß der Bewegungseinschränkung einen gewissen Schluß auf die Schwere des Traumas zu.

Bei Kraftfahrzeugunfällen ist es weiterhin von Bedeutung, den Fahrzeugtyp zu erfahren sowie den Sitzplatz des Verunglückten. Die Massenverhältnisse der kollidierenden Fahrzeuge beeinflussen die Größe der auftretenden Beschleunigungskräfte. Es ist auch wichtig, ob eine Nacken-

stütze vorhanden war und ob Sicherheitsgurte getragen wurden.

Es ist vielfach üblich, daß die Wirbelsäule bei Sektionen nicht entnommen und untersucht wird. Deshalb können bestehende Verletzungen nicht exakt erfaßt werden. An einer Serie von fünf Halswirbelsäulen Unfalltoter wurde eine spezielle Sektion vorgenommen ¹⁵⁹⁾.

Nur auf diesem Wege ist es möglich, HWS-Verletzungen in ihrer ganzen Ausdehnung zu erkennen ¹⁶⁰⁾. Dabei sind es vor allem ausgedehnte Blutungen und Zerreißungen in den Weichteilen und Gelenken, die der Kliniker im allgemeinen nicht zu Gesicht bekommt. An Hand der vorgefundenen Verletzungen ist es sehr oft möglich, Rückschlüsse auf den vorangegangenen Verletzungsmechanismus zu ziehen (siehe Sektionsbefunde im Anhang).

Beweisen läßt sich eine solche Verbindung bestimmter Verletzungsmechanismen mit immer wiederkehrenden "Kombinationen" von Einzelverletzungen nur durch das Experiment. Unter Versuchsbedingungen können nach Richtung und Stärke genau definierte Kräfte in ihren Wirkungen auf das Kopf-HWS-System beobachtet werden.

Leichenexperimente ¹⁶¹⁾ wurden verschiedentlich durchgeführt. GERSHON-COHEN (1954) und BEATSON (1963)

159) Die Sektionstechnik und die Sektionsergebnisse sind im Anhang beschrieben.

160) LEICHSENRING 1964; HINZ 1968; EMMINGER 1966, 1968 und 1970.

161) Bezüglich der Wertigkeit von Puppenversuchen (Dummies) siehe besonders CHANDLER et al. (1969) sowie CLEMENS unveröffentlichte Befunde.

brachten Halswirbelsäulen menschlicher Leichen durch direkte Krafteinwirkung am Kopf in extreme Ante- bzw. Retroflexionsstellungen. Bei GURDJIAN et al. (1966), SOLLMANN (1967), HINZ (1969) und CLEMENS (1970) handelt es sich dagegen um echte "Schleuderungen" auf Schlitten. Die Versuche des zuletzt genannten Autors zeichnen sich darüberhinaus durch einen hohen technischen Aufwand bezüglich der Bildaufzeichnung, Messung verschiedener Beschleunigungsgrößen und Auswertung der Ergebnisse aus.

Die Ergebnisse einer Testserie ¹⁶²⁾ von 10 "Schleuderungen mit primärer Anteflexion" sind in der Tabelle 31 wiedergegeben. Die Sektionsergebnisse der ersten vier Fälle sind im Anhang zu finden.

Die Erfahrungen mit den drei erprobten Methoden lassen sich abschließend folgendermaßen zusammenfassen:

Mangelhafte Ergebnisse erbrachte die Auswertung der Fragebogen. Dies lag an der geringen Zahl der ausgefüllten Bogen sowie an der lückenhaften Beantwortung der gestellten Fragen ¹⁶³⁾.

Mit der durchgeführten Sektionstechnik lassen sich ausgezeichnete Ergebnisse erzielen (siehe Fall G₁ - G₅ im Anhang). Leider fehlen hier oft genauere Angaben über den Verletzungsmechanismus.

Diesem Mangel wird im Experiment begegnet, so daß dort unter kontrollierten Bedingungen die Verletzungsfol-

162) FIALA, CLEMENS und BUROW 1970

163) ADACHI et al. (1965) verschickten Fragebogen an 600 Taxifahrer. 346 davon antworteten; von diesen hatten 225 Fahrer 246 Auffahrunfälle erlitten. Die Hälfte davon blieb symptomlos.

gen studiert werden können. Der Wert solcher Ergebnisse ist somit am höchsten einzuschätzen.

Tab. 32: Zusammenstellung von 10 Schleuderexperimenten mit primärer Anteflexion

Torso	Alter	Verletzung	Lokalisation (Glied Nr.)	Schweregrad	b _S
17	86	A	5	2	17,8 g
19	58	A	5	2	nicht gemessen
484	88	A	3	2	10,4 g
		A	6	2	
477	67	C	6	4	28,0 g
1	74	A	5	2	37,6 g
2	80	C	5+6	3	36,0 g
3	73	B	2	3	36,0 g
4	88	C	0+1	3	36,0 g
8	88	C	0	4	36,0 g
		B	8	3	
9	79	C	0	4	36,0 g
		A	5	2	

A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne gröbere Dislokation, C = Luxationen und Luxationsfrakturen

1 = leicht verletzt, 2 = nicht gefährlich verletzt,
3 = gefährlich verletzt, 4 = tödlich verletzt

b_S = Schlittenbeschleunigung

7. Verletzungsstufen bei Schleudertraumen

7.1 Allgemeines

Aus den bisher gesammelten Befunden ist deutlich geworden, daß die Verletzung eines Bewegungssegmentes bei indirekter Kraftübertragung (Schleuderverletzungen) einem bestimmten Ablauf folgt. Grundsätzlich lassen sich dabei Anteflexionsverletzungen von Retroflexionsverletzungen unterscheiden. Es gibt bestimmte, immer wiederkehrende Verletzungskombinationen, die in ihrer Zusammenstellung einen Schluß auf die Schwere der Verletzung und die Art des Verletzungsmechanismus gestatten. Ähnliche Einteilungen wurden bereits von anderen Autoren vorgenommen, weichen aber von dem hier aufgestellten Schema ab ¹⁶⁴⁾. Aus dem Studium des Sektionsmaterials ergab sich, daß die Weichteilverletzungen bei der Schleuderung im Vordergrund stehen.¹⁶⁵⁾

Mit Einschränkung lassen sich diese Einteilungen auch auf die Fälle direkter Kraftübertragung (also bei direkter Gewalteinwirkung am Schädel) anwenden, solange der Kopf und die HWS frei beweglich sind und die Kraft- richtung nicht zu steil zephalo-kaudal gerichtet ist. Sonst werden mit dem Auftreten erhöhter Scher- Stauchungs- kräfte die Verhältnisse entscheidend verändert, vor allem

164) MILLER und SCHULTZ (1958) gaben drei Verletzungsstufen bei Hyperextension an, siehe auch KULOWSKI (1960). ERDMANN (1967) gibt vier Stufen für Schleuderverletzungen an; auf die Unterschiede zu der vorliegenden Einteilung wird jeweils bei der Besprechung der einzelnen Stufen eingegangen.

165) Siehe auch ERDMANN (1967 und 1968).

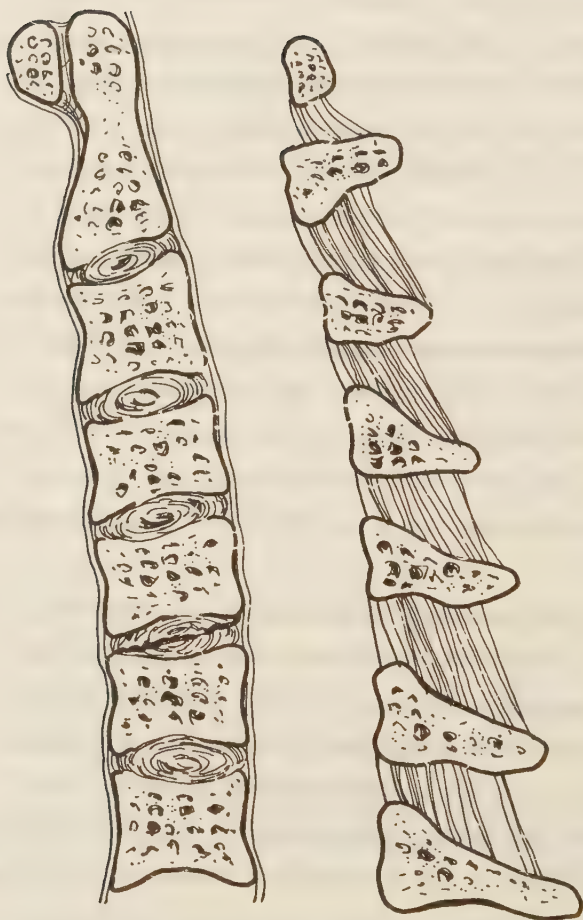


Abb. 2 Anteflexionsverletzung 1. Grades (AF_I).
Isolierte Bandscheibenverletzung bei C₅/C₆
(siehe Text).

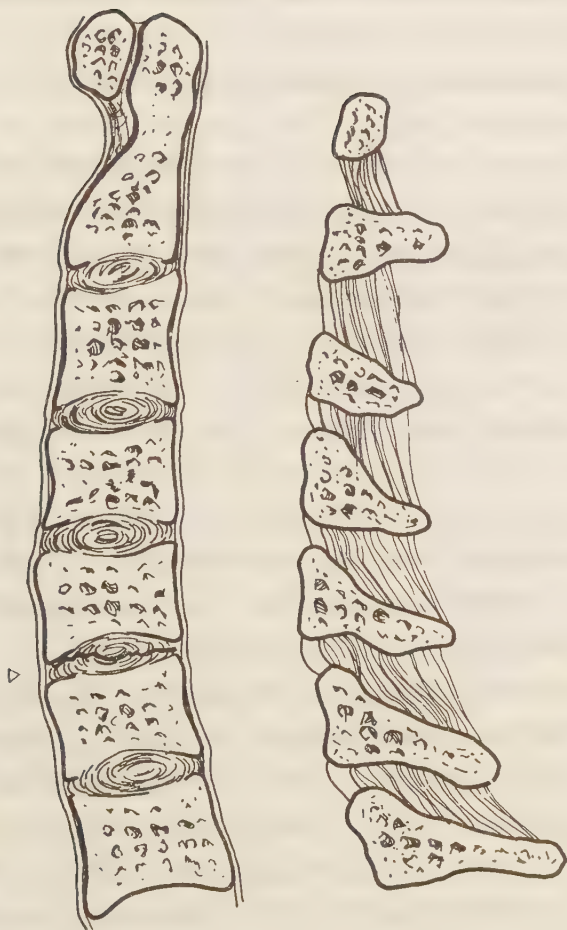


Abb. 3 Retroflexionsverletzung 1. Grades (RF_I).
Isolierte Bandscheibenverletzung bei C₅/C₆
(siehe Text).

im Sinne eines vermehrten Auftretens von knöchernen Verletzungen.

Für den einphasigen Ablauf des Schleudermechanismus ergeben sich folgende Stufen:

7.2 Verletzungsstufe Anteflexion_I (AF_I) und Retroflexion_I (RF_I) ¹⁶⁶⁾

Als erstes morphologisches Substrat wurden vor den Bänderverletzungen solche der Bandscheiben gefunden. Also: Isolierte Bandscheibenverletzungen ohne gleichzeitige Band- oder Knochenverletzungen (Abb. 2, 3, 16, 17, 18, 19). Es kamen bei Hyperextension und Hyperflexion seitliche Einrisse bis zum Nucleus pulposus und vollständige Querrisse der ganzen Bandscheibe vor. Diese Risse sind nicht zu verwechseln mit den als natürliche Degeneration entstandenen Randspalten der Zwischenwirbelscheiben (siehe oben). Blutaustritte sowie deutliche Gefügetrennungen machen die Unterscheidung gegenüber den "organisierten" Spaltbildungen am anatomischen Präparat möglich.

Der Unterschied zwischen den Anteflexions- Retroflexionsverletzungen besteht darin, daß bei den unvollständigen, nicht die gesamte Bandscheibe durchziehenden Rissen der Spalt jeweils auf verschiedenen Seiten entsteht. Bei der Anteflexion liegt die unvollständige Verletzung der Bandscheibe dorsal vom Nucleus pulposus, bei der Retroflexion ventral davon. Die Verletzungen entstehen also immer auf der Seite der Bandscheibe, die der größeren Zugbelastung ausgesetzt ist, am "höheren Ende

166) MILLER und SCHULTZ (1958) geben als erste Stufe einen Kneifzangenmechanismus an, ERDMANN (1968) spricht von minimalen Weichteilverletzungen.

des Keiles". Nicht geklärt ist dabei, ob der Riß seinen Ausgang von der Gallertkernhöhle nimmt, z.B. dadurch, daß der Nucleus pulposus nach vorn oder hinten gedrängt wird, oder ob der Riß von den Rändern des Faserringes ausgeht. Obwohl dieser ventral und dorsal fest mit den Längsbändern verwachsen ist, besteht wegen des mehrschichtigen Aufbaus dieser Bänder dennoch eine solche Verletzungsmöglichkeit der Bandscheibe. Dies erfolgt dadurch, daß obere Schichten der Bänder mehrere Wirbelkörper überspringen. So ist es durchaus denkbar, daß oberflächlich die Kontinuität des Bandes erhalten scheint, während in der Tiefe nur die am Anulus fibrosus inserierenden Fasern gerissen sind. (Hier hat sich das Fehlen mikroskopischer Präparate als besonders bedauerlich erwiesen.)

Es erscheint jedoch wahrscheinlicher, daß eine innere "Explosion" der Bandscheibe stattfindet, da die Längenbeanspruchung der Bandscheibenränder nicht so stark ist wie die Druckbelastung des Gallertkernes, die zu einer Sprengung des Faserringes von innen heraus führt ¹⁶⁷⁾. Dies kann jedoch nur spekulativ erörtert und nicht bewiesen werden. Als gesichert ist das Vorkommen isolierter Bandscheibenverletzungen als erste Verletzungsstufe einer extremen Sagittalbewegung der HWS anzusehen. Ein laterales Hervortreten des Nucleus pulposus neben den erhaltenen

167) JUNGHANNS 1966.

Auf einem Verletzungspräparat ist nach leichter Mazeration ein von der Gallertkernhöhle ausgehender Riß sichtbar an einer verletzten Bandscheibe. Dieser Riß erreicht nicht die hintere Grenze der Bandscheibe.

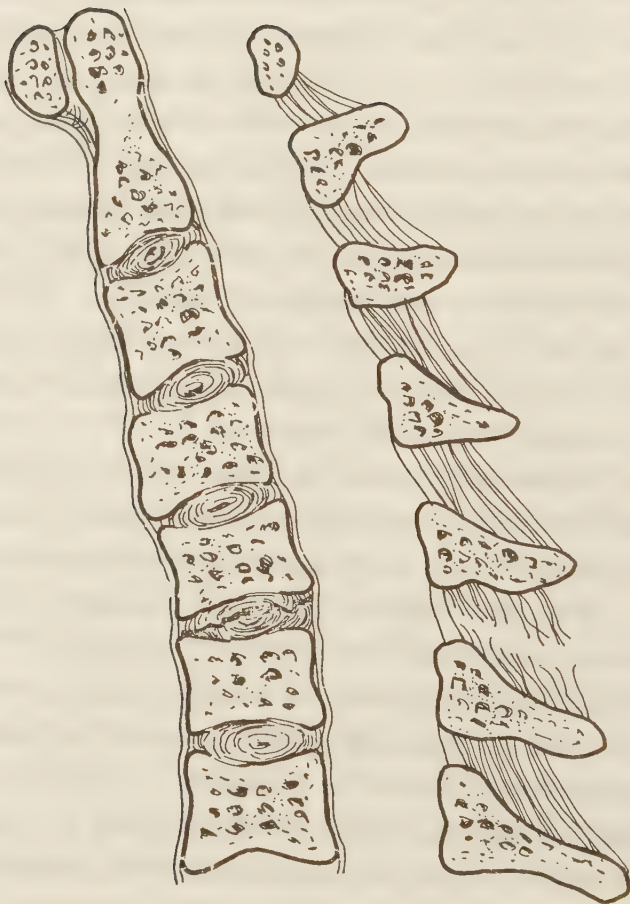


Abb. 4 Anteflexionsverletzung 2. Grades (AF_{II}). Bandscheibenquerriß und Ruptur der Ligg. interspinalia bei C₅/C₆ (siehe Text).

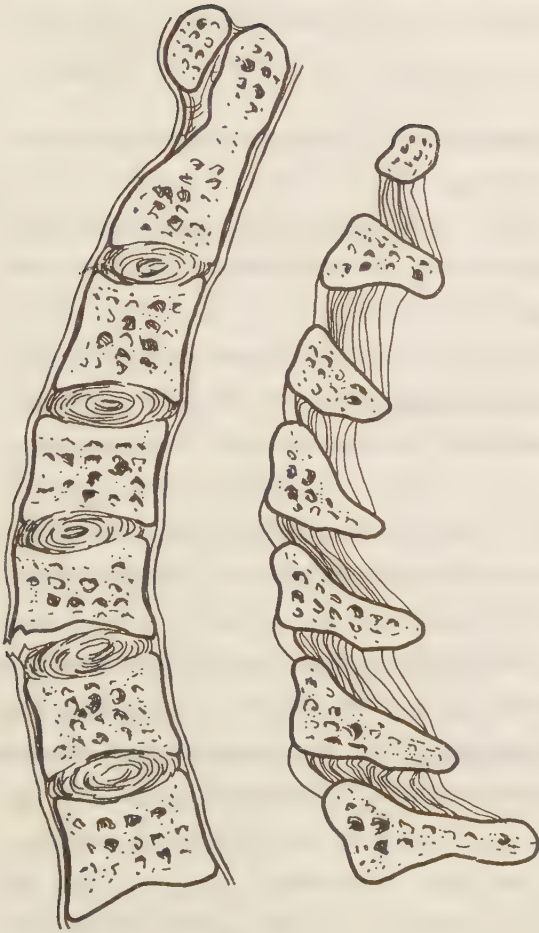


Abb. 5 Retroflexionsverletzung 2. Grades (RF_{II}). Bandscheibenquerriß (hier mit Deckplattenablösung) und Ruptur des Lig. longitudinale anterior bei C₅/C₆ (siehe Text).

Längsbändern wurde nicht beobachtet, ist jedoch möglich. Dadurch droht ein Prolabieren in den Wirbelkanal, wenn der Riß die dorsale Bandscheibenhälfte einschließt. Außerdem droht eine Kompression der Nervenwurzeln. Diese Verletzungsstufe ist schon als "gefährlich" einzustufen.

7.3 Verletzungsstufe Anteflexion_{II} (AF_{II}) und Retroflexion_{II} (RF_{II}) ¹⁶⁸⁾

Als nächste Verletzungsstufe ist auf Grund einer Zunahme der Beweglichkeit bei zerstörter Bandscheibe ein Riß der Längsbänder zu erwarten.

Tatsächlich wurde bei der extremen Retroflexion ein Riß des vorderen Längsbandes gefunden, wobei regelmäßig die entsprechende Bandscheibe quer durchgerissen war ¹⁶⁹⁾ (Abb. 5, 12, 13 und 15). Darüberhinaus sind hier auch im mittelbaren Zusammenhang mit dem Bänderausriß Knochenverletzungen möglich, nämlich Vorderkantenabrisse und Deckplattenausrisse.

Im Falle der Anteflexion ist jedoch wegen des starken Auseinanderweichens der Dornfortsätze und Wirbelbögen der "dorsale Bandapparat" ¹⁷⁰⁾ einer besonderen Belastung ausgesetzt. Rupturen der Ligg. interspinalia (oder eine Abrißfraktur der entsprechenden Dornfortsätze), der Gelenkkapseln und der Ligg. flava kommen vor, ohne daß das hintere Längsband geschädigt ist. Ein reversibles Vor-

168) MILLER und SCHULTZ (1958) sowie ERDMANN (1968) beschreiben die gleiche Verletzung als zweite Verletzungsstufe bei der Retroflexion.

169) Nach JUNGHANNS (1966) gibt es keine isolierte Verletzung der Längsbänder.

170) HOLDSWORTH 1963

wärtsgleiten des kranialen Wirbelkörpers (Subluxation) ist möglich und wahrscheinlich ¹⁷¹⁾.

7.4 Verletzungsstufe Anteflexion_{III}-(AF_{III}) und Retroflexion_{III}-(RF_{III}) ¹⁷²⁾

Auch hier müssen die zwei Mechanismen getrennt betrachtet werden. Bei der noch massiveren Anteflexion wird die vollständige Lösung des Bewegungssegmentes durch einen Riß des hinteren Längsbandes bewirkt (Abb. 6 und 11). Dies führt zu einer Luxation in den kleinen Wirbelgelenken und zu einem Aufklappen des Bewegungssegmentes nach vorn, wobei die Vorderkante des unteren Wirbelkörpers abbrechen kann (tear drop fracture). Frakturen der Gelenkfortsätze sind häufig ¹⁷³⁾. Ein Bogenbruch in diesem Stadium kann lebensrettend sein ¹⁷⁴⁾.

Neueste experimentelle Befunde (CLEMENS unveröffentlichte Mitteilung) zeigten bei Anteflexionsverletzungen Rupturen des vorderen Längsbandes bei intaktem hinteren Längsband. Ob dies auf den von RETTIG und KOLLMANN (1967) angegebenen Gehalt des hinteren Längsbandes an elastischen Fasern zurückzuführen ist, ist ungeklärt. Eine größere Resistenz des Bandes gegenüber Zugbelastungen würde so ihre Erklärung finden.

171) BAILEY 1963

172) Diese Stufe entspricht für die Retroflexion der von MILLER und SCHULTZ (1958) beschriebenen dritten Stufe. ERDMANN (1968) gibt eine isolierte Wirbelkörperfraktur an.

173) DE PALMA 1959

174) BEATSON 1963

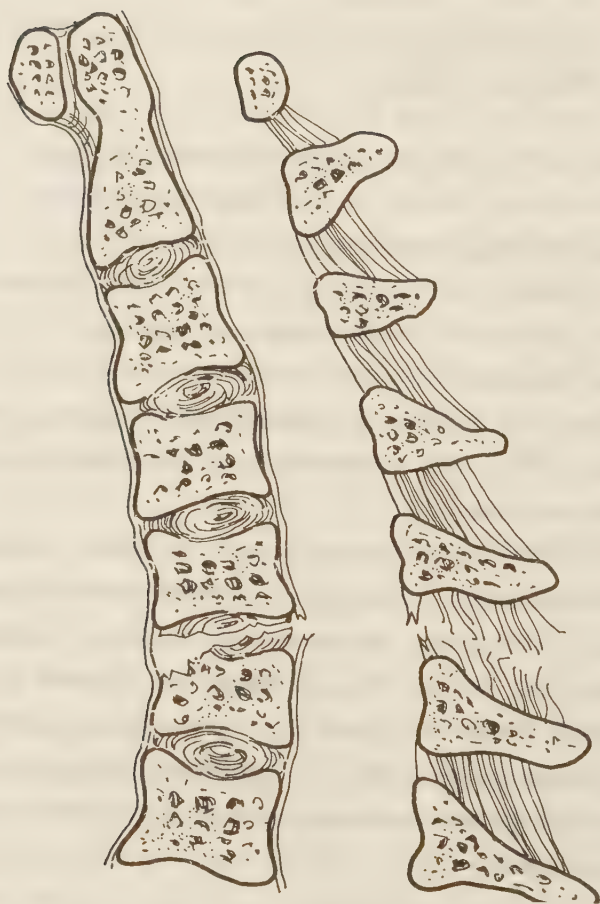


Abb. 6 Anteflexionsverletzung 3. Grades (AF_{III}). Bandscheibenquerriß (hier mit Vorderkantenabbruch) und vollständige Ruptur des dorsalen Bandapparates (Ligg. interspinalia, Lig. flavum und Lig. longitudinale posterius) bei C₅/C₆ (siehe Text).



Abb. 7 Retroflexionsverletzung 3. Grades (RF_{III}).
 Ruptur des vorderen und hinteren Längsbandes
 sowie der Bandscheibe bei C₅/C₆. Fraktur eines
 Dornfortsatzes ist wahrscheinlich, aber nicht
 obligat (siehe Text).

Bei der Retroflexion tritt hier entweder ein Durchriß des hinteren Längsbandes auf oder dessen Lösung von der Rückwand des Wirbelkörpers, mit dem es nur wenige Verbindungen hat (siehe oben). Ein Dornfortsatz-, Bogen- oder Gelenkfortsatzbruch oder ein Hinterkantenabbruch ist nun bei der extremen Beweglichkeit sehr wahrscheinlich. Einer horizontalen Verschiebung des Wirbelkörpers auf den Wirbelkanal zu sind jedoch Grenzen durch den erhaltenen dorsalen Bandapparat gesetzt.

Starke Blutungen und eine Verletzung der Nervenwurzeln sowie Muskelzerreißen dürften spätestens jetzt auftreten.

7.5 Verletzungsstufe Anteflexion_{IV} (AF_{IV}) und Retroflexion_{IV} (RF_{IV}) ¹⁷⁵⁾

Dieser Stufe entspricht in beiden Fällen die vollständige Durchtrennung der HWS. Schwerste Verletzungen des Rückenmarkes sind die Folge und können kaum überlebt werden.

Statt eines Risses des vorderen Längsbandes bei der Anteflexion kann es auch zu einer Ablösung des Bandes von der Vorderwand des Wirbelkörpers kommen (Abb. 19).

175) ERDMANN (1968) gibt als vierte Verletzungsstufe eine Luxationsfraktur an.

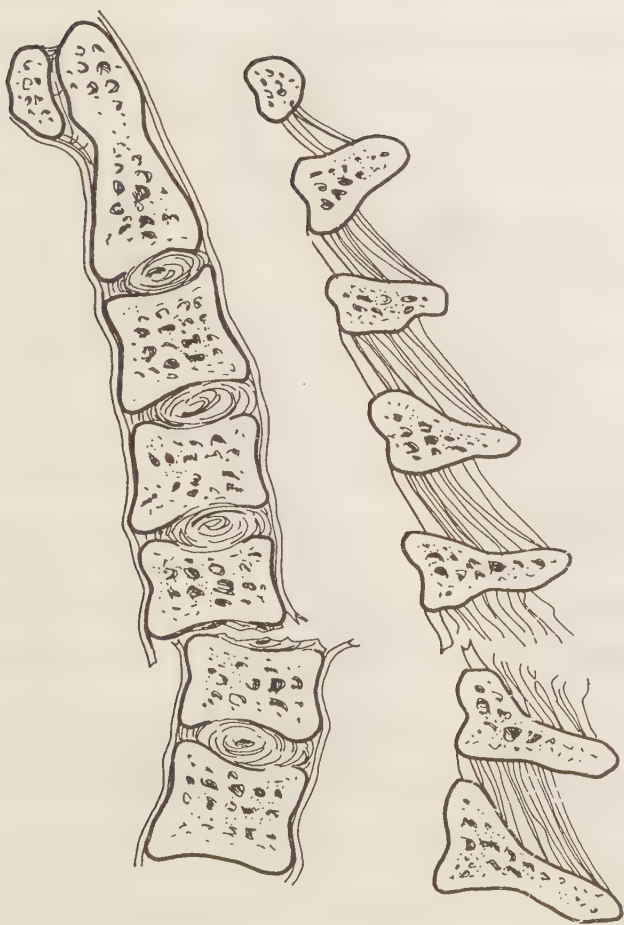


Abb. 8 Anteflexionsverletzung 4. Grades (AF_{IV}).
Vollständiger Durchriß aller Haltebänder
bei C₅/C₆ (siehe Text).



Abb. 9 Retroflexionsverletzung 4. Grades (RF_{IV}).
 Vollständiger Durchriß aller Haltebänder
 bei C₅/C₆. Eine Fraktur ist wahrscheinlich,
 aber nicht obligat (siehe Text).

8. Zusammenfassung

Zur Frage des Entstehungsmechanismus von HWS-Verletzungen wurden 229 Fälle (289 Einzelverletzungen) von "indirekt" entstandenen HWS-Verletzungen untersucht.

Entsprechend dem Entstehungsmechanismus wurden vier Gruppen gebildet: I = Schleuderverletzungen, II = "einphasige" Retroflexionsverletzungen, III = "einphasige" Anteflexionsverletzungen, IV = Kombinationstraumen.

Die Verletzungen lokalisierten sich in allen Gruppen bevorzugt auf die obere und die untere HWS. Dabei wiesen die Glieder der unteren HWS (besonders C₅ und C₆) regelmäßig den höchsten Prozentsatz der Verletzungen auf (57 % bei den Schleuderverletzungen, 62 % bei den Retroflexionsverletzungen, 65 % der Anteflexionsverletzungen und 46 % der Kombinationstraumen).

Ein Vergleich der Fälle von tödlichen Verletzungen mit den überlebten ergab, daß die tödlichen Verletzungen häufiger im Bereich der oberen HWS lokalisiert waren als die nicht tödlichen.

Einen Einfluß auf die Lokalisation hatte außerdem das Alter der Verletzten. So stieg die Verletzungshäufigkeit in den unteren HWS-Abschnitten entsprechend dem Auftreten degenerativer Vorschädigungen mit zunehmendem Alter. Im 9. Dezennium erreichte die Verletzungshäufigkeit der unteren HWS mit 84 % einen Höchstwert.

Die entstandenen Verletzungen wurden entsprechend ihrer Art in drei Klassen eingeteilt: A = Weichteilverletzungen, B = Frakturen ohne gröbere Dislokation und

C = Luxationen und Luxationsfrakturen sowie Trümmerfrakturen.

Die Weichteilverletzungen waren bei den Schleudertraumen besonders häufig (62 %).

In den anderen drei Verletzungsgruppen waren die Luxationen und Luxationsfrakturen mit 57 - 59 % die häufigsten Verletzungen.

Ein Einfluß des Alters auf die Art der entstandenen Verletzungen schien ebenfalls gegeben zu sein. Es fiel auf, daß die Luxationen und Luxationsfrakturen besonders im 4., 6., 7. und 8. Dezennium stark überwogen.

Ein Zusammenhang zwischen der Art der entstandenen Verletzungen und ihrer Schwere ist stark ausgeprägt. Von den tödlichen Verletzungen waren 94,2 % Luxationen und Luxationsfrakturen und keine Weichteilverletzungen.

Schädel-Hirn-Traumen als Begleitverletzungen waren in den Gruppen II - IV in 46,3 % der Fälle vorhanden. Bei den Schleudertraumen gaben 28 % der Patienten Kommotionsbeschwerden an (ohne direkte Gewalteinwirkung am Kopf).

Aus den bei der Sektion von 15 Halswirbelsäulen gewonnenen Befunden (fünf Unfalldtote, zehn experimentell erzeugt) wurden verschiedene Verletzungskombinationen, wie sie nach Schleuderverletzungen auftreten, hergeleitet. Es wurden für die reine Anteflexions- und die reine Retroflexionsphase je vier Verletzungsstufen angegeben. Im Mittelpunkt der Betrachtung standen hierbei die aufgetretenen Weichteilverletzungen.

Insbesondere die letztgenannten Ergebnisse bedürfen noch der weiteren Bestätigung durch experimentelle Untersuchungen.

9. Anhang

Sektionstechnik ¹⁷⁶⁾: Es wurde die gesamte HWS einschließlich der ersten Brustwirbel und der halben Schädelbasis sowie der Halseingeweide entfernt. Dies ist relativ schnell und ohne äußere Beschädigung der Leiche möglich. In einigen Fällen wurde die HWS durchleuchtet und Röntgenaufnahmen gemacht. Die Halseingeweide und die Muskulatur wurden schichtweise abpräpariert, wobei besonders auf traumatische Blutungen und Zerreißungen geachtet wurde. Anschließend wurde das Präparat tiefgefroren und mit einer Bandsäge in vier Teile geschnitten. Die Schnittführung war so, daß die Wirbelsäule durch einen Sagittalschnitt halbiert wurde. Zwei weitere Sagittalschnitte wurden beiderseits durch die kleinen Wirbelgelenke gelegt. Dabei gelang es meist, die Aa. vertebrales in ihrer Länge aufzuschneiden. Nach der Dokumentation durch Fotografien mit einem Leitz-Réprovit-Gerät wurden die Rückenmarkshälften im ganzen entfernt und die Dura mater anschließend herauspräpariert. So konnten auch das hintere Längsband und die gelben Bänder untersucht werden. Schließlich wurden die Teilstücke in 10-%igem Antiformin bis auf die Bänder mazeriert. Dies ließ nochmals kleinere Verletzungen erkennen (z.B. Fissuren im Knochen). Exemplarisch sollen diese fünf Fälle im Folgenden besprochen werden.

176) HINZ 1968; LEICHSENRING 1964; EMMINGER 1966, 1968 und 1970; BECKER 1959.

9.1 Fünf Fälle von HWS-Verletzungen

Fall G₁: St. B., 5 Jahre, männlich

Unfallhergang: Der Junge wurde beim Überqueren der Fahrbahn von einem Pkw von links angefahren. Die Fahrzeuggeschwindigkeit betrug 30 km/h. An dem Pkw wurde das vordere Kennzeichen, der Kühlergrill und die Motorhaube eingedrückt. Das Kind war auf der Stelle tot.

Befund: Hautabschürfungen im Gesicht und an der linken Stirn, Stirnplatzwunde li., Oberschenkelfraktur re., Unterschenkelfraktur li., Milzriß, Einriß der li. Niere, Prellungsherd in der li. Lunge.

HWS: Es lag ein vollständiger Abriß des Hinterhauptes von der HWS vor. Sämtliche Bandverbindungen in diesem Bereich waren durchtrennt, ebenso die Medulla oblongata. Beide Okzipitalkondylen waren frakturiert, und zwar waren die Bruchstücke abgeschert. Sie befanden sich noch in den Gelenkpfannen des Atlas. Das vom re. Kondylen abgescherte Fragment war das größere (Abb. 10).

Bei der schichtweisen Präparation wurde eine massive Blutung zwischen der Fascia colli media und profunda 177) gefunden, die bis C₃ hinaufreicht. Das Zungenbein ist unversehrt. Beide Mm. sternocleidomastoidei sind stark durchblutet, ebenso der re. M. longus capitis in seinem mittleren Drittel. Der M. longus colli weist an seinem Ansatz feine Ausrisse auf. In den Nackenmuskeln

177) Die PNA ist in diesem Fall absichtlich nicht verwendet worden.

sind keine Blutaustritte. Nach dem Aufsägen der Wirbelsäule wurde flüssiges Blut im Wirbelkanal auf Höhe von C₇ gefunden. Das Halsmark ist stark erweicht (Abb. 11).

Der Dens epistrophei ist frakturiert, ebenso die li. Massa lateralis atlantis.

Das vordere Längsband ist zwischen C₂ und C₃ eingerissen.

Nach Entfernung des Rückenmarkes und der Dura wird ein Riß des hinteren Längsbandes zwischen C₆ und C₇ sichtbar. Dort ist Bandscheibengewebe nach dorsal in den Wirbelkanal eingedrungen. Das Lig. flavum zwischen C₇ und Th₁ ist durchtrennt. Die li. Nervenwurzel zwischen C₆ und C₇ ist durchblutet.

Verletzungsmechanismus: In diesem Fall liegen offensichtlich zwei räumlich und funktionell voneinander unabhängige HWS-Verletzungen vor. Im Vordergrund steht die Verletzung der oberen HWS, welche durch starke Scherkräfte entstanden ist. Die Kräfte kamen offensichtlich nicht direkt von vorn, sondern haben seitlich am Schädel angesetzt, und zwar erfolgte der Anprall von links (siehe oben). So ist einmal zu erklären, daß die Kondylen nicht nach hinten oder vorne aus der Gelenkpfanne sprangen, sondern abgeschert wurden; hierbei blieb der rechte Kondylus fast vollständig in der Pfanne stecken. Dies liegt an einer seitlichen Kippung des Kopfes mit Einpressen des Gelenk Kopfes in die Pfanne. Dabei kam es gleichzeitig zu einer Fraktur der li. Massa lateralis atlantis, welche immer

mit einer Seitbeugung verbunden ist ¹⁷⁸⁾. Die Densfraktur betraf besonders die rechte Hälfte des Dens und war merkwürdig geformt, so als würde ein schräges Fragment von der Spitze des Zahnfortsatzes abgeschert.

Die Verletzung im unteren HWS-Bereich ist als typische Hyperflexionsverletzung anzusehen mit einer Zerreißung der hinteren Haltebänder. Dabei wird deutlich, was oben schon gesagt wurde, daß das Lig. longitudinale posterior eine Stützfunktion auf die Bandscheibe ausübt. Beim Zerreißen des Bandes und des hinteren Anteiles des Faserringes tritt Bandscheibenmaterial nach dorsal aus. Gleichzeitig liegt hier eine starke epidurale Blutung vor.

Fall G₂: L. E., 75 Jahre, weiblich

Unfallhergang: Die Entstehung der Verletzung ist ungeklärt. Die Frau befand sich wegen einer Pleuritis exsudativa bei Bronchialkarzinom in stationärer Behandlung. Sie verstarb plötzlich beim morgendlichen Aufsitzen. Todesursache: Akutes Herzversagen. Ein Trauma war aus den letzten Lebenstagen nicht bekannt. Auch klagte die Patientin angeblich nicht über Schmerzen im Halsbereich.

HWS: Eine frische, etwa fünfmarkstückgroße Blutung liegt im unteren HWS-Bereich. Zwischen dem sechsten und siebenten Halswirbel klafft ein millimeterbreiter Spalt. Das vordere Längsband ist durchtrennt. Im Sägeschnitt ist die vollständige Durchtrennung der fünften Bandscheibe mit Abriß der Unterkante von C₆ sichtbar. Außerhalb der Dura

178) KULOWSKI 1960

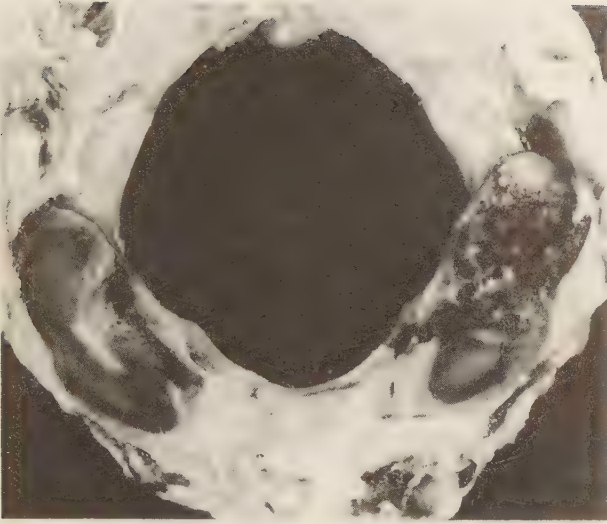


Abb. 10 Fall G₁, Knochenstück um das For. occip. magnum.
Etwas mazeriert. Der rechte Kondylus ist fast
vollständig abgeschert. Abbruch der Spitze des
linken Kondylen.



Abb. 11 Fall G₁. Rechte Sägeschnittthälfte.
Bei C₆ sind die Bandscheibe, das hintere
Längsband und die Ligg. flava zerstört.
Bandscheibenprolaps, Subluxationsstellung
und Blut im Wirbelkanal. Frakturspalt im
Dens axis.

befindet sich etwas Blut im Wirbelkanal (Abb. 12). Auffallend sind die für dieses Alter geringen degenerativen Veränderungen. Die kleinen Wirbelgelenke sind intakt.

Verletzungsmechanismus: Hier handelt es sich um eine typische Retroflexions-(Hyperextensions-)verletzung der HWS, die in ihrer Schwere gewiß als gefährlich anzusehen ist, angesichts der vollständigen Durchtrennung der ventralen Hälfte eines Bewegungssegmentes, die zu einer abnormen Beweglichkeit mit drohender Einengung des Wirbelkanals geführt hat.

Fall G₃: D. G., 80 Jahre, männlich

Unfallhergang: Der Verunglückte wurde beim Überqueren der Fahrbahn von links von einem Pkw angefahren. Er verstarb sechs Tage nach dem Unfall im Krankenhaus.

Befund: Zwei kleine Kopfplatzwunden, flächenhafte Hautunterblutungen am li. Arm, am li. Ober- Unterschenkel und am re. Knöchel. Unterblutung der Kopfschwarte.

Stückbruch des li. Humerusschaftes, med. Schenkelhalsfraktur li., Tibia- Fibulafraktur li., Sprunggelenksfraktur re., Rippenbrüche VII und VIII li.

Pneumonien li. und re. Lunge, Lungenödem, generalisierte Arteriosklerose.

Todesursache: Pneumonie.

HWS: Blutungen an der Ventralfläche der HWS auf Höhe von C₂ und C₅. Das vordere Längsband ist zwischen C₄ und C₅ durchtrennt. Dort ist die Bandscheibe quer durchgerissen. Eine spondylotische Randzacke ist von der Oberkante C₅ abgerissen.



Abb. 12 Fall G₂. Rechte Sägeschnittthälfte.
Querriß der fünften Bandscheibe mit Durch-
trennung des vorderen Längsbandes und
Vorderkantenabriß bei C₆.

In der Muskulatur und den Weichteilen, zwischen den Dornfortsätzen des vierten und fünften Halswirbels findet man Blutaustritte (Abb. 12).

Die Bandscheibe zwischen C_2 und C_3 ist in der hinteren Hälfte eingerissen und durchblutet. Auf der Dorsalseite, zwischen den Dornfortsätzen finden sich entsprechende Blutungen. Blutig durchtränkt ist ebenfalls das Atlanto-okzipital-Gelenk.

Die dritte Bandscheibe, zwischen C_4/C_5 ist vollständig durchgerissen. Das vordere Längsband ist hier durchtrennt, eine spondylotische Randzacke von der Oberkante C_5 ist abgerissen. Außerdem ist Blut zwischen den zugehörigen Dornfortsätzen ausgetreten. Es liegt also eine typische Hyperextensionsverletzung vor.

Bei C_6 ist eine epidurale Blutung eingetreten.

Alle Wirbelkörper weisen an der Ventralfläche spondylotische Randzacken auf. Bei C_6 ist der Rückenmarkskanal durch eine dorsale Vorwölbung der Bandscheibe eingeengt.

Fall G_4 : G.R., 58 Jahre, männlich

Unfallhergang: Der Mann wurde beim Überqueren der Fahrbahn von einem Pkw angefahren. Er verstarb nach fünf Tagen im Krankenhaus.

Befund: Kopfplatzwunde li., flächenhafte Unterblutung der Kopfschwarte.

Fraktur des li. Os parietale und Os temporale.

Schädelbasisfraktur. Rippenfraktur V und VI li.

Ausgedehnte subdurale und submeningeale Blutungen.



Abb. 13 Fall G₃. Linke Sägeschnittthälfte.
 Bandscheibenverletzung und Blutung bei C₂.
 Bandscheibenquerriß mit Längsbanddurchtrennung
 und Vorderkantenabriß bei C₄/C₅. Dort auch
 Blutung zwischen die Dornfortsätze.
 Epidurale Blutung bei C₆/C₇.

Erweichung des li. und re. Frontalpols, des re. Temporalappens. Beginnende Autolyse des Gehirns. Unterlappenneumonie re. Trübe Schwellung der inneren Organe.

Todesursache: Schädel-Hirn-Trauma.

HWS: Keine von außen sichtbaren Blutungen oder Weichteilverletzungen.

Im Sägeschnitt wird eine Blutung im Atlanto-okzipital-Gelenk sichtbar (Abb. 14). In Höhe von C₁/C₂ liegt eine frische subdurale Blutung sowie eine frische Markblutung vor. Das Halsmark ist stark erweicht.

Der Wirbelkanal ist von C₅ bis Th₂ durch Reste eines alten subduralen Hämatoms eingeengt. Zwischen C₆/C₇ liegt eine ausgeprägte Osteochondrosis intervertebralis vor sowie eine Spondylosis uncovertebralis. Die Bandscheibe ist fast völlig aufgelöst.

Das vordere Längsband und die Bandscheibe zwischen Th₁/Th₂ sind eingerissen.

Nach der Herausnahme des Rückenmarks findet sich eine Blutung unter das hintere Längsband, von C₆ bis Th₁, sowie Blutungen in die Lig. flava.

Verletzungsmechanismus: In diesem Fall handelt es sich um eine nochmalige Verletzung einer bereits vorgeschädigten HWS. Der Mechanismus scheint der einer gewaltsamen Retroflexion zu sein, worauf der vordere Längsbandriß hinweist. Dessen Lokalisation ist aber außergewöhnlich tief. Dafür könnte die Versteifung des Bewegungssegmentes zwischen C₆/C₇ verantwortlich sein.

Die Blutungen in die hinteren Bänder sind nicht



Abb. 14a Fall G₄. Linke Sägeschnittthälfte.
 Alte und frische subdurale Blutungen.
 Spondylose und Osteochondrose.
 Längsbandriß Th₁/Th₂.

Abb. 14b Linke Rückenmarkshälfte.
 Blutung im oberen Anteil.

einwandfrei zu erklären; entweder handelt es sich hier um Quetschungen bei maximaler Retroflexion oder um Zerrungen bei einer daneben erlittenen Anteflexion. Gegen die erste Annahme sprechen aber die fehlenden Verletzungen im ventralen Anteil dieser Bewegungssegmente sowie deren eingeschränkte Beweglichkeit auf Grund der starken Osteochondrose.

Fall G₅: A. W., 78 Jahre, männlich

Unfallhergang: Der Verunglückte stürzte beim Überqueren der Straße. Während ein Pkw dem Liegenden noch ausweichen konnte, fuhr ihn der nächste Wagen an. In diesem Augenblick wollte A. sich gerade erheben, so daß ihn der Anprall von vorne im Gesicht traf. Der Tod trat auf der Stelle ein.

An dem Daimler-Benz-Pkw wurde eine Leiste der Kühlerverkleidung direkt unterhalb des "Mercedes-Sterns" leicht eingebeult. Hier fanden sich Blutspuren.

Befund: Mehrere Riß- Platzwunden im Gesicht. Trümmerbrüche des Oberkiefers und Nasenbeins. Bieungsbruch des li. Os parietale. Berstungsbruch der Schädelbasis. Mäßige subdurale und submeningeale Blutungen.

Todesursache: Schädel-Hirn-Trauma.

HWS: Blutaustritte in die prävertebrale Muskulatur und unter das vordere Längsband bei C₂ und C₆/C₇. Zwischen diesen beiden Wirbeln ist das vordere Längsband durchtrennt.

Schwerste spondylotische und osteochondrotische Veränderungen der HWS mit Schädigung aller Bandscheiben im Halsbereich. Der Wirbelkanal ist stellenweise stark

eingeeengt durch dorsale spondylotische Zacken und durch kräftige Vorwölbungen der Ligg. flava (Abb. 15).

Das Bewegungssegment zwischen C_6/C_7 ist quer durchgerissen, wobei die Vorderkante von C_6 abgerissen ist. Im li. kleinen Wirbelgelenk zwischen C_4/C_5 liegt eine Subluxationsstellung vor. Zwischen den Ligg. flava finden sich von C_4 bis C_6 blutunterlaufene Stellen. Das Rückenmark ist stark erweicht.

Verletzungsmechanismus: Zumindest bei der Verletzung auf Höhe von C_6 handelt es sich um eine typische Retroflexions-(Hyperextensions-)verletzung. Wahrscheinlich sind auch die Blutungen an der Wand des Wirbelkanals auf Venenzerreißen auf Grund des gleichen Retroflexionsmechanismus zurückzuführen. Die Gefährlichkeit dieser Verletzung liegt neben der abnormen Beweglichkeit des zerstörten fünften Bewegungssegmentes in der ohnehin schon bestehenden Einengung des Rückenmarkkanales.

9.2 Vier Fälle von experimentell erzeugten Schleuder- verletzungen bei Hyperflexion

Bei der Besprechung der vorigen Fälle ist immer wieder auf "typische Ante- Retroflexionsverletzungen" hingewiesen worden. Eine solche Unterteilung läßt sich auf Grund immer wiederkehrender Kombinationen von Knochen- Weichteilverletzungen vornehmen. Es sollen noch vier Fälle vorgestellt werden, bei denen sich auf Grund kontrollierter Versuchsbedingungen der Mechanismus beschreiben läßt.



Abb. 15a Fall G₅. Linke Sägeschnitthälfte.
Bandscheibenriß mit Durchtrennung des
vorderen Längsbandes und Vorderkanten-
abriß bei C₆/C₇. Schwerste Osteochondrose
und Spondylose der gesamten HWS.

Abb. 15b Rechte Sägeschnitthälfte.
Rückenmark und Dura entfernt.
Bandscheibenquerriß bei C₆/C₇.
Vorwölbungen und Blutungen zwischen den
Ligg. flava.

Die Versuche wurden im III. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin durchgeführt. Eine vorläufige Beschreibung und Auswertung der Experimente findet sich bei FIALA, CLEMENS und BUROW (1970). Die Sektion der Halswirbelsäulen wurde selbst vorgenommen nach der oben bereits beschriebenen Methode.

Torso Nr. 484: 88 Jahre, männlich

Der Torso wurde mit einer Verzögerung des Transportschlittens von 10,4 g gebremst. Die Bandscheibe zwischen C_3/C_4 ist in der dorsalen Hälfte eingerissen, die zwischen C_6/C_7 ist vollständig durchtrennt (Abb. 16). Es liegen also an zwei Stellen isolierte Bandscheibenverletzungen ohne Verletzungen der Haltebänder vor. Da es bei einem solchen Einriß leicht zu einem Prolaps der Bandscheibe nach dorsal in den Wirbelkanal kommen kann, wurden diese Verletzungen als "gefährlich" eingestuft. Ein solcher Prolaps wurde hier jedoch nicht beobachtet, vielleicht wegen des verminderten Quellungsdruckes des Nucleus pulposus.

Torso Nr. 17: 86 Jahre, weiblich

Die Schlittenverzögerung betrug 17,8 g. Zwischen C_5/C_6 ist es zu einem vollständigen Durchriß der Bandscheibe gekommen (Abb. 17). Die Haltebänder sind völlig intakt. Gleichzeitig kann man bei diesem Fall den Unterschied zwischen den traumatisch entstandenen Bandscheibenrissen und degenerativen Spaltbildungen recht gut sehen; und zwar liegen solche Randspalten an den beiden Bandscheiben kranial und kaudal der Verletzungsstelle vor. Im übrigen

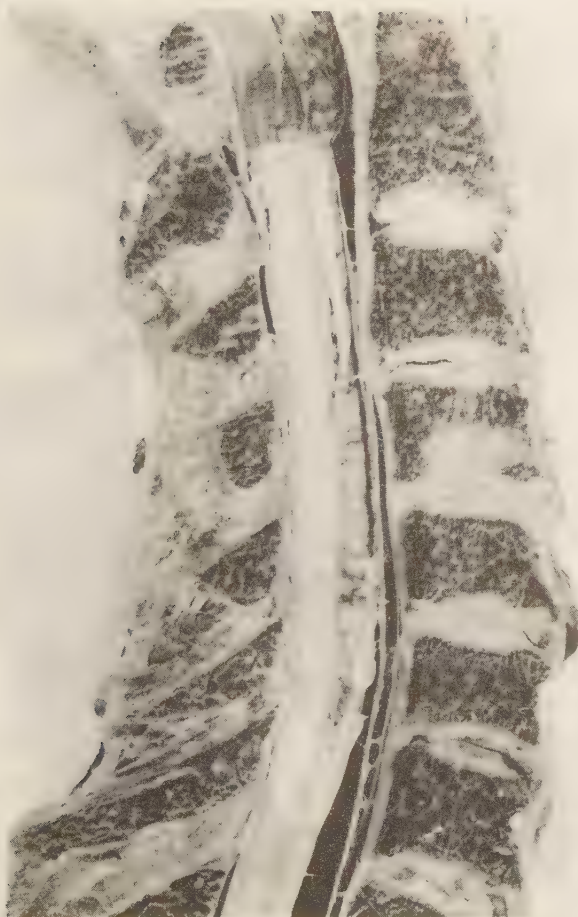


Abb. 16 Torso 484. Schleuderung bei Anteflexion.
Isolierte Bandscheibenverletzungen bei C_3/C_4
(dorsaler Einriß) und bei C_6/C_7 (Querriß).



Abb. 17 Torso 17. Linke Sägeschnittthälfte.
Bandscheibenquerriß bei C₅/C₆.

wurde kein pathologischer Befund erhoben.

Torso Nr. 19: 58 Jahre, männlich

Die Schlittenverzögerung konnte in diesem Fall nicht gemessen werden.

Auch hier liegt eine isolierte Bandscheibenverletzung bei C_5/C_6 vor. Im übrigen kein pathologischer Befund (Abb. 18).

Torso Nr. 477: 67 Jahre, männlich

Schlittenverzögerung: 28 g.

Bei dieser erhöhten Schlittenverzögerung ist der gesamte dorsale Muskel- Bänderapparat zwischen C_6/C_7 zerrissen. Das Lig. flavum ist ebenso zerstört wie das Lig. longitudinale posterius. Die Zwischenwirbelscheibe ist mitsamt der Deckplatte vom sechsten Halswirbel abgerissen. Die kleinen Wirbelgelenke sind luxiert (Abb. 19). Auffällig ist auch, daß diese Verletzung genau über einem osteochondrotisch versteiften Bewegungssegment aufgetreten ist. Eine sichtbare Rückenmarksverletzung ist wahrscheinlich deshalb nicht aufgetreten, weil das Mark bei den verwandten Torsen kranial und kaudal durchgeschnitten war. Zwischen C_4 und C_5 ist die Bandscheibe quer durchtrennt.

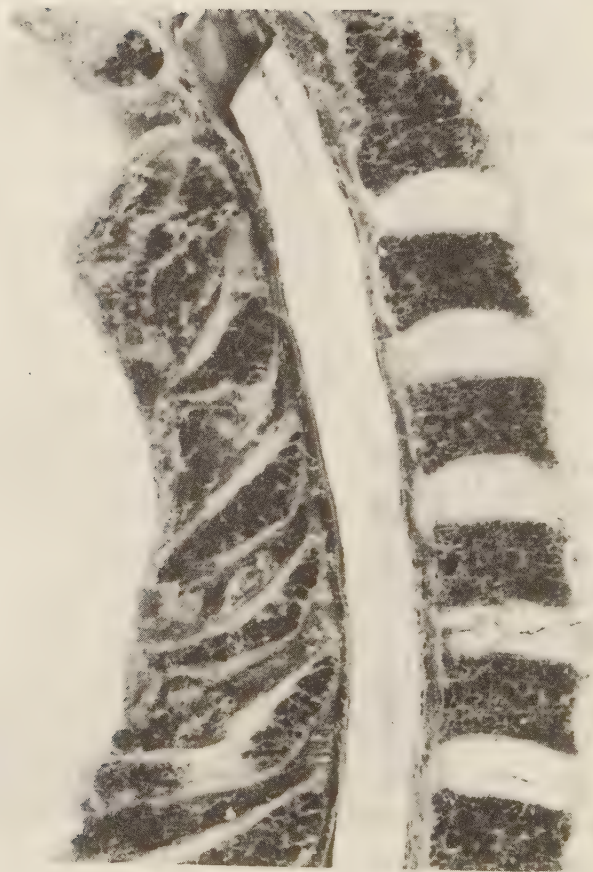


Abb. 18 Torso 19. Linke Sägeschnitthälfte.
Isolierte Bandscheibenverletzung bei C₅/C₆
(Querriß).



Abb. 19 Torso Nr. 477. Rechte Sägeschnittthälfte, RM und Dura entfernt. Zerreißung der Ligg. flava sowie Ablösung des hinteren Längsbandes von der Wirbelkrperrckseite. Isolierter Bandscheibenquerriß bei C₄/C₅. Blockwirbelbildung C₇/Th₁.

Literaturverzeichnis

- ABEL, M. S. : Clinical and roentgenological aspects of occult fractures of the smaller elements of the cervical vertebrae.
Amer. J. Surg.
97 (1959) 530
- ADACHI, Y.,
T. SHIBATA und
M. YOSHIKUMI : Whiplash injuries among taxicab drivers.
Accid. Med., Tokio
8/11 (1965) 664
Ref. in: Excerpta med., Amsterdam,
Orthop. Surg., 12 (1967) 94
- AKIYAMA, H. : Dislocation and fracture of cervical vertebrae.
Accid. Med., Tokio
8/6 (1965) 321
Ref. in: Excerpta med., Amsterdam,
Orthop. Surg., 12 (1967) 146
- AMYES, E. W. und
F. M. ANDERSON : Fracture of the odontoid process.
Report of 63 cases.
Arch. Surg., Chicago
72 (1956) 377
- AUFDERMAUR, M. : Die Spondylosis Cervicalis.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
17 (1960)
- BAILEY, R. W. : Observations of cervical intervertebral disc lesions in fractures and dislocations.
J. Bone Surg.
45 - A (1963) 461
- BAUR, R. : Zum Problem der Neugliederung der Wirbelsäule.
Acta anat.
72 (1969) 321
- BEATSON, T. R. : Fractures and dislocations of the cervical spine.
J. Bone Surg.
45 - B (1963) 21
- BECKER, V. : Zur Sektionstechnik der Halswirbelsäule.
Virchows Arch. path. Anat.
332 (1959) 384

- BILLIG, H. E. : Head, neck, shoulder and arm syndrome following cervical injury. The mechanism of injury and the symptoms and signs involved. J. int. Coll. Surg. 32 (1959) 187
- BÖHLER, J. : Verletzungen der Halswirbelsäule. Verh. Dtsch. Orthop. Ges. 93 (1960) 314
- BRAAKMAN, P. und J. P. VINKEN : Unilateral facet interlocking in the lower cervical spine. J. Bone Surg. 49 - B (1967) 249
- BRAUNSTEIN, P. W. : Medical aspects of automobile crash injury research. J. Amer. Med. Ass. 163 (1957) 249
- BROCHER, J. E. W. : Die Wirbelsäulenleiden und ihre Differentialdiagnose. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1966 4. Aufl.
- BROCHER, J. E. W. : Die Wirbelsäule. Aus: SCHINZ, BAENSCH, FROMMHOLD, GLAUNER, UEHLINGER und WELLAUER, Lehrbuch der Röntgendiagnostik. Bd III G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1966 6. Aufl.
- BROCHER, J. E. W. : Die Okzipital-Zervikal-Gegend. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1955
- BÜRKLE DE LA CAMP, H. : Wirbelsäulenverletzungen beim Kraftfahrer. Klin. Med. 14 (1959) 505
- BÜRKLE DE LA CAMP, H. : Die Unfallchirurgie der Wirbelsäule. Hefte Unfallhk. 66 (1961) 112
- BUES, E. : Halswirbelsäule und traumatischer Hirnschaden in der akuten und chronischen Phase. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 25 (1962) 173

- BUES, E. : Feststellung des traumatischen Anfangsbefundes im Bereich der Halswirbelsäule. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis 40 (1968) 139
- BUETTI-BÄUML, C. : Funktionelle Röntgendiagnostik der HWS. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1954
- BÜTTNER, G. : Die Verletzungen der Autoinsassen, ihre Entstehung und Verhütung. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 679 (1959)
- BUFE, W. : Isolierte Verletzung des Hals-rückenmarkes ohne Beteiligung des Knochens, mit besonderer Berücksichtigung der Hämatomyelie. Mschr. Unfallhk. 44 (1937) 427
- BUONOCORE, E., J. T. HARTMAN und C. L. NELSON : Cineradiograms of the cervical spine in diagnosis of soft-tissue injuries. J. Amer. Med. Ass. 198 (1966) 25
- BURDI, A. R., D. F. HUELKE, R. G. SNYDER und G. H. LOWREY : Infants and children in the adult world of automobile safety design: Pediatric and anatomical considerations for design of child restraints. Journal of Biomechanics 2 (1969) 267
- CAMMACK, K. V. : Whiplash injuries to the neck. Amer. J. Surg. 93 (1957) 663
- CHANDLER, R. F. und R. A. CHRISTIAN : Comparative evaluation of dummy performance under G_x impact. Proc. 13th Stapp Car Crash Conference, Boston 1969, S. 61
- CHRIST, W. : Zur Frage der Begutachtung von HWS-Verletzungen unter Berücksichtigung angeborener Anomalien. Mschr. Unfallhk. 62 (1959) 379
- CLEMENS, H. J. : Die Venensysteme der menschlichen Wirbelsäule. Walter de Gruyter Verlag, Berlin, 1961

- CLEMENS, H. J. : Beitrag zur intraossalen Angiographie der Vertebralvenensysteme in Verbindung mit der Bildverstärker Kinematografie. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
34 (1966) 88
- COMPERE, E. L. : Whiplash injuries: A panel discussion. J. Internat. Coll. Surgeons
28 (1957) 54
- DAVIS, A. G. : Tensile strength of the anterior longitudinal ligament in relation to treatment of 132 crush fractures of the spine. J. Bone Surg.
20 (1938) 429
- DAVIS, A. G. : Injuries of the cervical spine. J. Amer. Med. Ass.
127 (1945) 149
- DE PALMA, A. G. : The management of fractures and dislocations - an atlas. Vol. I, S. 130-160
W.B. Saunders Comp., Philadelphia-London, 1959
- DIETHELM, L. und C. CLAUSEN : Technik der Wirbelsäulenröntgenuntersuchung im Hinblick auf gutachterliche Fragen. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
40 (1968) 51
- DÖRR, W. M. : Über die Anatomie der Wirbelsäulen. Arch. orthop. Unfallchir.
50 (1958) 222
- DREXLER, L. : Röntgenanatomische Untersuchungen über Form und Krümmung der HWS in den verschiedenen Lebensaltern. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
23 (1962) 24
- DUBOIS, M. : Die Bedeutung der degenerativen Vorzustände bei stumpfen Verletzungen der Wirbelsäule. Verh. Dtsch. Orthop. Ges.
93 (1960) 302

- ECKLIN, U. : Die Altersveränderungen der Halswirbelsäule.
J. Springer Verlag, Berlin,
Göttingen, Heidelberg, 1960
- EMMINGER, E. : Anatomische Befunde beim
Peitschenschlagmechanismus.
Ärztliche Praxis
22 (1970) 803
- EMMINGER, E. : Pathologisch-anatomische Befunde
bei frischer Halswirbelsäulenver-
letzung.
Verh. Dtsch. Orthop. Ges.
104 (1968) 282
- EMMINGER, E. : Zur pathologischen Anatomie des
Schleudertraumas der Halswirbel-
säule.
Langenbeck's Arch. klin. Chir.
316 (1966) 445
- ERDMANN, H. : Die Begutachtung der Wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
40 (1968) 7
- ERDMANN, H. : Die röntgenologische Diagnostik
der Schleudertraumen der Hals-
wirbelsäule.
Verh. Dtsch. Orthop. Ges.
104 (1968) 271
- FABRICIUS, C. : Stoßartige Beschleunigung von
Fahrzeuginsassen bei Auffahr-
fällen.
Inaug. Diss. an der Fak. V
Maschinenwesen der TU Berlin, 1969
- FIALA, E.,
H. J. CLEMENS und
K. BUROW : Verletzungsmechanik der Hals-
wirbelsäule.
Forschungsbericht Nr. 99 aus dem
Institut für Kraftfahrzeuge der
TU Berlin, 1970
- FICK, R. : Handbuch der Anatomie und Mechanik
der Gelenke.
Bd 1
G. Fischer Verlag, Jena, 1904
- FICK, R. : Handbuch der Anatomie und Mechanik
der Gelenke.
Bd 3
G. Fischer Verlag, Jena, 1911

- FRANKEL, C. J. : Medical - legal aspects of injuries to the neck.
J. Amer. Med. Ass.
169 (1959) 216
- FRIEDENBERG, Z. B.,
J. EDEIKEN,
H. N. SPENCER und
S. C. TOLENTINO : Degenerative changes in the cervical spine.
J. Bone Surg.
41 - A (1959) 61
- FRIEDHOFF, E. : Ursachen und Verhütungsmöglichkeiten von Verkehrsunfällen.
Hefte Unfallhk.
66 (1961) 16
- GABRIELSEN, T. O. und
J. A. MAXWELL : Traumatic atlanto-occipital dislocation with case report of a patient who survived.
Amer. J. Roentgenol.
97 (1966) 624
- GAY, J. R. und
K. H. ABBOT : Common whiplash injury of the neck.
J. Amer. Med. Ass.
152 (1953) 1698
- GEHLE, W. : Vegetative Regulationsstörungen nach Schleudertraumen der Halswirbelsäule.
Verh. Dtsch. Orthop. Ges.
104 (1968) 315
- GELEHRTER, G. : Risse des vorderen Längsbandes im Bereiche der Halswirbelsäule.
Arch. orthop. Unfallchir.
48 (1957) 698
- GELEHRTER, G. und
H. P. VITALLI : Verletzungsformen der Halswirbelsäule mit Ausnahme der Kopfgelenke.
Arch. orthop. Unfallchir.
52 (1961) 287
- GERSHON-COHEN, J.,
E. BADIN und
F. GLAUSER : Whiplash fractures of the cervico-dorsal spinous process.
J. Amer. Med. Ass.
155 (1954) 560
- GIEBEL, M. G. : Schleudertrauma der Halswirbelsäule.
Langenbeck's Arch. klin. Chir.
316 (1966) 457
- GÖGLER, E. : Mehrfachverletzungen und Unfallmechanismen im Straßenverkehr.
Hefte Unfallhk.
66 (1961) 138

- GÖGLER, E. : Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
25 (1962) 159
- GÖGLER, E. : Chirurgie und Verkehrsmedizin.
Aus: Handbuch der Verkehrsmedizin, S. 417
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1968
- GÖGLER, E. : Verkehrssicherheit und Unfallchirurgie.
Materia Medica Nordmark
22 (1970) 381
- GOTTEN, N. : Survey of 100 cases of whiplash injury after settlement of litigation.
J. Amer. Med. Ass.
162 (1956) 865
- GRIMME, G. : Angaben über die Verletzungen gemäß den Berichten über Unfälle an Fahrzeuginsassen, die mit Sicherheitsgurten versehen waren.
Tagung über die Verkehrssicherheit, Brüssel 1968
- GÜNTZ, E. : Die Kyphose im Jugendalter.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
2 (1957)
- GURDJIAN, E. S. und H. R. LISSNER : The position of motions of the head at impact.
8th Stapp Car Crash Conference and Field Demonstration, Wayne State University Press, Detroit, 1966, 128
- GUTTMANN, G. : Halswirbelsäule und Durchblutungsstörungen in der Vertebralis-Basilaris-Strombahn.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
25 (1962) 138
- GUTTMANN, G. : Bewegungsdiagnostik der einzelnen Bewegungssegmente.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
40 (1968) 44

- HADLEY, L. A. : Anatomico-roentgenographic studies of the spine.
C. Thomas, Springfield (Ill.), 1964
- HAWKES, C. D. : Whiplash injuries of the head and the neck.
Arch. Surg.
75 (1957) 828
- HILL, A. V. : The mechanics of voluntary muscle.
Lancet
2 (1951) 947
- HINZ, P. : Vielschichtige Untersuchungsmethoden zur Erfassung pathomorphologischer Sektionsbefunde nach Schleudertraumen der Halswirbelsäule.
Dtsch. Zschr. gerichtl. Med.
64 (1968) 204
- HINZ, P. : Die Verletzung der Halswirbelsäule durch Schleuderung und Abknickung.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
47 (1970)
- HINZ, P.,
R. R. COERMANN und
W. LANGE : Das Verhalten der Halswirbelsäule bei der Simulation von Auffahrunfällen.
Mschr. Unfallhk.
72 (1969) 321
- HODGSON, A. R. : Cervical spondylosis.
The Journal of Western Pacific Orthopedic Association
6 (1969) 117
- HOLDSWORTH, F. W. : Fractures, dislocations and fracture-dislocations of the spine.
J. Bone Surg.
45 - B (1963) 6
- HUFSCMIDT, H. J. : Willkürliche und reflektorische Koordination der menschlichen Rückenmuskeln.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
26 (1962) 29
- HYRTL, J. : Lehrbuch der Anatomie des Menschen mit Rücksicht auf physiologische Begründung und praktische Anwendung.
Wilhelm Braumüller, Wien, 1889

- IKEDA, K. und
N. SAKURADA : Experimental and clinical study
of mechanism and pathological con-
dition of whiplash injury.
The Journal of Western Pacific
Orthopedic Association
6 (1969) 149
- JANZEN, R. : Schleudertrauma der Halswirbel-
säule. Neurologische Probleme.
Langenbeck's Arch. klin. Chir.
316 (1966) 461
- JAROSCH, P. und
P. HINZ : Hinterhauptsabriss von der Hals-
wirbelsäule.
Mschr. Unfallhk.
72 (1969) 89
- JUNGHANNS, H. : Die Wirbelsäule.
Aus: Handbuch der gesamten Unfall-
heilkunde von BÜRKLE DE LA CAMP,
Bd 2, S. 666, 3. Aufl.,
F. Enke Verlag, Stuttgart, 1966
- JUNGHANNS, H. : Chondrosis intervertebralis und
Spondylosis deformans in ihren
Beziehungen zum Trauma und zur
Begutachtung.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
40 (1968) 104
- JUNGHANNS, H. : Mitverletzung der HWS bei Kopf-
verletzungen.
Jahresbericht 1969 des Instituts
für Wirbelsäulenforschung in
Frankfurt.
- JUNGHANNS, H. : Die kombinierte Verletzung des
Schädels und der Halswirbelsäule.
Mschr. Unfallhk.
73 (1970) 97
- KNESE, K. H. : Bau und Mechanik der Wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
26 (1962) 9
- KUHLENDahl, H. : Die neurologischen Syndrome bei
der Überstreckungsverletzung der
HWS und dem sogenannten Schleuder-
trauma.
Münch. med. Wschr.
106 (1964) 1025

- KUHLEND AHL, H. : Schleudertrauma der Halswirbelsäule. Neurochirurgische Probleme. Langenbeck's Arch. klin. Chir. 316 (1966) 470
- KULOWSKI, J. : Automotive crash injuries to the spinal and femoral linkages. A new biomechanical point of view. Amer. J. Surg. 95 (1958) 908
- KULOWSKI, J. : Crash injuries. The integrated medical aspects of automobile injuries and death. C. Thomas, Springfield (Ill.), 1960
- LANGWORTHY, M. : Dislocations of the cervical vertebrae. Report of 30 cases. J. Amer. Med. Ass. 94 (1930) 86
- LEICHSEN RING, F. : Pathologisch-anatomische Befunde in der HWS-Region bei verstorbenen Patienten mit Schädeltraumen. Dtsch. med. Wschr. 89 (1964) 1469
- LOB, A. : Die Wirbelsäulenverletzungen und ihre Ausheilung. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1954, 2. Aufl.
- LUSCHKA, H. : Die Anatomie des Menschen in Rücksicht auf die Bedürfnisse der praktischen Heilkunde. Bd 1, 1. Abteilung: Der Hals. Verlag der Lampp'schen Buchhandlung, Tübingen, 1862
- MARTINEZ, J. L. : Headrest and seat back design proposals. Proc. of the 12th Stapp Car Crash Conference, Detroit 1968, S. 164
- MARTINEZ, J. L. und D. J. GARCIA : A model for whiplash. Journal of Biomechanics 1 (1968) 23
- MC INTIRE, R. T., E. L. COMPERE, J. W. WATTS und K. H. ABBOT : Whiplash injuries: A panel discussion. J. Internat. Coll. Surgeons 28 (1957) 54

- MERLI, S. und
A. MARCHIORI : Die Diagnose des Aufpralles bei
Straßenunfällen.
Österreichische Ärztezeitung
12 (1969) 1438
- MILLER, J. W. und
L. R. SCHULTZ : Paraplegia associated with hyper-
extension injury to the cervical
spine.
Amer. J. Surg.
96 (1958) 618
- MOSER, H. : Schleuderverletzungen der Hals-
wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
25 (1962) 206
- MÜLLER, E. : Kopfprellungen und ihre Folgen.
Mschr. Unfallhk.
62 (1959) 340
- MÜLLER, E. : Commotio Cerebri und Halswirbel-
säule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
25 (1962) 164
- MÜLLER, E. : Das Schleudertrauma der HWS und
seine verschiedenen Folgen.
Dtsch. med. Wschr.
91 (1966) 588
- OMMAYA, A. K.,
A. E. HIRSCH und
J. L. MARTINEZ : The role of whiplash in cerebral
concussion.
Proc. of the 10th Stapp Car Crash
Conference, New Mexico 1966, S. 314
- REHN, J. : Die knöchernen Verletzungen der
Wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
40 (1968) 131
- RETTIG, H. und
K. KOLLMANN : Wirbelsäulenfibel.
G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1967
- ROBERT, V. L. und
H. R. LISSNER : A correlation between cadaver and
in vivo results.
Proc. 8th Car Crash and Field
Demonstration Conference, Wayne
State University Press, Detroit,
1966, S. 134

- ROGERS, R. A. und
J. N. SILVERS : Elements of an effective child
restraint system.
Proc. 12th Stapp Car Crash Con-
ference, Detroit 1968, S. 172
- ROUQUES, L. : En combien de temps un ostéophyte
peut-il se former?
Presse méd.
66 (1958) 46
Ref. in: Die Wirbelsäule in
Forschung und Praxis
16 (1960) 77
- SÄKER, G. : Schädeltrauma und HWS.
Dtsch. med. Wschr.
79 (1954) 547
- SASS, J. D. : A discussion of the problems of
restraint in experimental in-
vestigations of acceleration in-
jury.
Journal of Biomechanics
2 (1969) 157
- SCHAEFER, J. H. : Whiplash injuries on the neck.
J. Amer. Med. Ass.
153 (1953) 974
- SCHLEGEL, K. F. : Die akute Schleuderverletzung der
HWS und ihre Behandlung.
Verh. dtsch. orthop. Ges.
104 (1968) 265
- SCHLEGEL, K. F. : Die Abgrenzung des nicht-trauma-
tischen Vorschadens an der Wirbel-
säule gegenüber den Verletzungs-
folgen.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
40 (1968) 111
- SCHMORL, G. und
H. JUNGHANNS : Die gesunde und die kranke Wirbel-
säule in Röntgenbild und Klinik.
G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1968
5. Aufl.
- SCHNEIDER, R. C.,
G. CHERRY und
H. PAUTEK : The syndrome of acute central
cervical spinal cord injury.
J. Neurosurg.
11 (1954) 546
- SEVERY, D. M.,
J. H. MATHEWSON und
C. O. BECHTOL : Controlled automobile rear-end
collisions.
Canad. Med. Serv. J.
11 (1955) 173

- SEVERY, D. M.,
H. M. BRINK und
J. D. BAIRD : Vehicle design for passenger protection from high speed rear-end collisions.
Proc. 12th Stapp Car Crash Conference, Detroit 1968, S. 94
- SINGLE, B. : Die prävertebrale und die Zungenbeinmuskulatur.
Inaug. Diss. an der FU Berlin
(noch nicht veröffentlicht)
- SICARD, A.,
J. PICARD und
H. MARTIN : Les fractures isolées de l'atlas.
J. Chir., Paris
75 (1958) 521
- SOILMANN, A. H. : Röntgenkinematografischer Film: Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule.
Verh. dtsh. orthop. Ges.
104 (1968) 264
- STOFFT, E. : Das Ligamentum longitudinale posterius in funktionell-anatomischer Sicht.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
40 (1968) 96
- STRASSER, H. : Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik.
Bd 1
J. Springer Verlag, Berlin, 1908
- STROHAL, R. : Überlegungen zur Statik der Wirbelsäule.
Hippokrates, Stuttgart
28 (1957) 607
- TÄGER, K. H. : Folgen von Schleuderverletzungen an der Halswirbelsäule und Begutachtungsfragen.
Verh. dtsh. orthop. Ges.
104 (1968) 293
- TAMASKA, L. und
P. HINZ : Kehlknopfverletzungen bei Schleuderttraumen der Halswirbelsäule.
Zbl. f. Verkehrsmed., Verkehrspsychol., Luft- u. Raumfahrtmedizin
15 (1969) 98
- TARRIERE, C. und
C. SAPIN : Biokinetic study of the head to thorax linkage.
Proc. 13th Stapp Car Crash Conference, Boston 1969, S. 365

- TAYLOR, A. R. : The mechanism of injury to the spinal cord in the neck without damage to the vertebral column. J. Bone Surg. 33 - B (1951) 543
- TÖNDURY, G. : Angewandte und topographische Anatomie. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1965 3. Aufl.
- TÖNDURY, G. : Lebenskurve der Halswirbelsäule. Verh. dtsh. orthop. Ges. 46 (1958) 137
- TORKLUS, D. von und W. GEHLE : Die obere Halswirbelsäule. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1970
- VOGELSANG, H. : Die spinale Ossovenographie. Walter de Gruyter Verlag, Berlin, 1969
- VOIGT, G. E. und K. WILFERT : Mechanism of injuries to unrestrained drivers in head-on collisions. Proc. 13th Stapp Car Crash Conference, Boston 1969, S. 295
- VOLLMAR, J. : Die typischen Verletzungen des Auto- und Motorradfahrers. Langenbeck's Arch. klin. Chir. 286 (1957) 54
- WANKE, R., R. MAATZ, H. JUNGE und W. LENTZ : Knochenbrüche und Verrenkungen. Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Berlin, 1962
- WEIL, U. H. : Betrachtungen zur Schleuderverletzung der Halswirbelsäule. Verh. dtsh. orthop. Ges. 104 (1968) 318
- WELLMER, H. K. und A. LARENA-AVELLANEDA : Die übersehene Halswirbelsäulenverletzung beim Kombinationstrauma. Arch. orthop. Unfallchir. 61 (1967) 43
- WETZEL, G. : Besonderheit des Kopfgelenkes und das statische Prinzip des Knochengerüsts. Anat. Anz., Jena 81 (1935) 345

- WICKSTROM, J.,
J. L. MARTINEZ,
D. JOHNSTON und
N. C. TUPPEN : Acceleration-deceleration in-
juries of the cervical spine in
animals.
The 7th Stapp Car Crash Conference
Proc., C. Thomas, Springfield
(Ill.), 1965, S. 276
- WICKSTROM, J.,
J. L. MARTINEZ und
R. RODRIGUEZ : Cervical sprain syndrome. Experi-
mental acceleration injuries of
the head and the neck.
The Prevention of Highway Injury,
Ann Arbor, 1967, S. 182
- WITT, A. N. : Klinik und Therapie der Wirbel-
säulenverletzungen.
Verh. dtsh. orthop. Ges.
93 (1960) 273
- WOLFF, H. D. : Studien an der mittleren Hals-
wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
26 (1962) 78
- ZETTEL, H. : Nichterkannte Halswirbelsäulenver-
letzungen bei Schädeltraumen.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
25 (1962) 181
- ZUKSCHWERDT, L. : Wirbelblockierung und Trauma unter
besonderer Berücksichtigung prä-
dispositioneller Momente.
Die Wirbelsäule in Forschung
und Praxis
9 (1959) 39
- ZUKSCHWERDT, L. : Das Schleudertrauma der Halswir-
belsäule.
Schweiz. med. Wschr.
92 (1962) 534
- ZUKSCHWERDT, L.,
E. EMMINGER,
F. BIEDERMANN und
H. ZETTEL : Wirbelgelenk und Bandscheibe.
Hippokrates-Verlag, Stuttgart,
1960

Lebenslauf

Ich wurde am 26. Mai 1947 als zweiter Sohn des Arztes Dr. med. Arnold Wirsching und seiner Ehefrau Helene, geb. Waldhecker, in Berlin geboren.

Ich besuchte die Grundschule in Berlin und legte im Februar 1966 an der Menzel-Oberschule in Berlin-Tiergarten die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1966 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin. Dort bestand ich 1967 das Vorphysikum, 1968 das Physikum und im Februar 1972 das medizinische Staatsexamen jeweils mit "sehr gutem" Erfolg.

Am 3. März 1972 heiratete ich in Berlin die Medizinalassistentin Barbara Single.

